

**REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL AGUACATE (*Persea americana* Miller)  
VARIEDAD AMERICANA EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES  
CONTROLADAS EN TOLUVIEJO, COLOMBIA.**

**RONALD JOSÉ ECHEVERRÍA PÉREZ**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ÉNFASIS SUELOS  
MONTERÍA – CÓRDOBA  
JUNIO  
2020**

**REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL AGUACATE (*Persea americana* Miller)  
VARIEDAD AMERICANA EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES  
CONTROLADAS EN TOLUVIEJO, COLOMBIA.**

**Trabajo de grado, modalidad investigación, como requisito para optar el título de  
Magíster en Ciencias Agronómicas Con énfasis en Suelos**

**DIRECTOR  
TEOBALDIS MERCADO FERNÁNDEZ  
I.A. Ph.D EN HIDROCIENCIAS**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ÉNFASIS SUELOS  
MONTERÍA – CÓRDOBA  
JUNIO  
2020**

**Los derechos sobre los textos y las imágenes incluidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Universidad de Córdoba.**

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas expresadas, conceptos y resultados del proyecto son responsabilidad del autor.**

**Artículo 17, acuerdo N° 039 del 24 de junio de 2005 del consejo superior de la Universidad de Córdoba.**

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**Carlos Cardona Ayala I.A. Ph.D., jurado**

---

**Edgar Manotas I.A. MSc., Jurado**

---

**Teobaldis Mercado Fernández I.A. Ph.D., Director**

**Montería, Junio de 2020**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida, escucharme y orientar mi camino hacia el cumplimiento de mis objetivos y sueños.

A mi familia por su amor y apoyo incondicional.

A mis amigos por acompañarme en mi proceso de formación.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por guiarme y sostenerme en cada uno de mis pasos.

A mi familia por su paciencia, amor, protección y apoyo necesario para llegar hasta el cumplimiento de esta meta. A mi madre Eloína y a mi hija Helena por ser mi gran motivación, a mi familia y a mi novia Luisa por apoyarme en los momentos difíciles.

A la Gobernación de Sucre y a COLCIENCIAS por su apoyo financiero, organización y estructuración para hacer posible el presente estudio.

A mis docentes por ofrecerme cada uno de sus conocimientos, suscitando en mí la motivación hacia la investigación.

A Teobaldis Mercado Fernández director de tesis, por su tiempo, disponibilidad y por su asesoramiento.

A la Universidad de Córdoba por brindarme nuevas oportunidades de formación y enriquecerme en conocimientos.

A mis compañeros de estudio por su amabilidad, acogida y acompañamiento valioso en la consolidación de este proyecto.

## CONTENIDO

Pág.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	16
1.1 INTRODUCCIÓN .....	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3 GENERALIDADES.....	20
1.3.1 Origen, taxonomía y distribución de la especie. ....	20
1.3.2 Limitantes tecnológicas.....	20
1.3.3 Fundamentos del riego .....	21
1.3.4 Estrés hídrico en las plantas.....	24
1.3.5 Riego en aguacate.....	25
1.3.6 Aspectos generales del cultivo de aguacate en los Montes de María.....	27
1.4 OBJETIVOS.....	28
1.4.1 Objetivo general .....	28
1.4.2 Objetivos específicos .....	28
1.5 LITERATURA CITADA.....	29
CAPÍTULO II. EFECTO DE CUATRO DOSIS DE AGUA SOBRE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO Y ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ ) EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS PARA AGUACATE ( <i>PERSEA AMERICANA</i> MILLER.) VARIEDAD AMERICANA.....	34
RESUMEN .....	35
ABSTRACT .....	35
2.1 INTRODUCCIÓN .....	36
2.2 METODOLOGÍA .....	37
2.2.1 Localización del proyecto.....	37
2.2.2 Establecimiento de la investigación.....	37
2.2.3 Población y muestra.....	38
2.2.4 Tipo de investigación.....	38
2.2.5 Diseño experimental.....	38
2.2.6 Cálculo de las dosis de agua.....	39
2.2.7 Variables e indicadores.....	41
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
2.3.1 Altura de planta (AP).....	43
2.3.2 Área foliar (AF).....	47
2.3.3 Diámetro basal del tallo (DBT).....	48
2.3.4 Número de hojas (NH).....	50
2.3.5 Masa seca de raíz (MSR).....	52
2.4 DETERMINACIÓN DEL $K_c$ EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS PARA AGUACATE ( <i>Persea americana</i> MILLER) VARIEDAD AMERICANA.....	61
2.5 CONCLUSIONES .....	63

2.6 LITERATURA CITADA.....	64
CAPÍTULO III. EFECTO DE CUATRO DOSIS DE AGUA SOBRE LAS VARIABLES DE INTERCAMBIO GASEOSO DEL AGUACATE ( <i>PERSEA AMERICANA</i> MILLER.) VARIEDAD AMERICANA BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN ETAPA DE VIVERO.....	70
RESUMEN .....	71
ABSTRACT .....	72
3.1 INTRODUCCIÓN .....	73
3.2 METODOLOGÍA .....	74
3.2.1 Localización del proyecto.....	74
3.2.2 Establecimiento de la investigación. ....	74
3.2.3 Población y muestra.....	76
3.2.4 Tipo de investigación. ....	76
3.2.5 Diseño Experimental.....	76
3.2.6 Cálculo de las dosis de agua. ....	76
3.2.7 Variables e indicadores.....	77
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	78
3.3.1 Fotosíntesis neta ( $P_n$ ).....	78
3.3.2 Conductancia estomática ( $g_s$ ) .....	79
3.3.3 Déficit de presión de vapor (DPV). ....	79
3.3.4 Transpiración (E).....	80
3.3.5 Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) .....	81
3.4 CORRELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DE INTERCAMBIO GASEOSO Y LA BIOMASA. ..	83
3.5 CONCLUSIONES .....	85
3.6 LITERATURA CITADA.....	86
DISCUSIÓN GENERAL .....	90
LITERATURA CITADA.....	96
CONCLUSIONES GENERALES .....	100
RECOMENDACIONES GENERALES .....	101
ANEXOS .....	102



## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 2.1</b> Propiedades químicas del sustrato utilizado en el ensayo.....	37
<b>Tabla 2.2</b> Propiedades químicas del agua utilizada en el ensayo .....	38
<b>Tabla 2.3</b> Registros históricos de las medias mensuales de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa (%), brillo solar (hrs) y velocidad del viento (km/d), en un rango de años de 1985 a 2016. Estación meteorológica Primates del municipio de Colosó. ....	40
<b>Tabla 2.4</b> Salida del Software Cropwat 8.0 .....	40
<b>Tabla 2.5</b> Tratamientos estimados a partir de la $ET_o$ .....	41
<b>Tabla 2.6</b> Modelos de regresión de los parámetros de crecimiento altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal de tallo (DBT) y número de hojas (NH) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, bajo las dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT).....	43
<b>Tabla 2.7</b> Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de las variables de crecimiento en etapa de vivero (15-90 DDT): altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal del tallo (DBT) y número de hojas (NH) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana en función de las dosis de agua .....	44
<b>Tabla 2.8</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable altura de plantas (AP) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después de trasplante (DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	45
<b>Tabla 2.9</b> Modelos de regresión de los parámetros de crecimiento: altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal de tallo (DBT) y número de hojas (NH) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana en función de la dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT).....	46
<b>Tabla 2.10</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable área foliar (AF) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	47
<b>Tabla 2.11</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable diámetro basal (DBT) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	49
<b>Tabla 2.12</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable número de hojas (NH) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	51
<b>Tabla 2.13</b> Modelos de regresión de la masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hoja (MSH) y masa seca total (MSTL) en la etapa de vivero (15-90 DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana en función de las dosis de agua .....	53

<b>Tabla 2.14</b> Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de las variables de acumulación de biomasa: masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST) , masa seca de hojas (MSH) y masa seca total (MSTL) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana en función de las dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT).....	55
<b>Tabla 2.15</b> Modelos de regresión de masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hojas (MSH) y masa seca total (MSTL) de la variedad americana de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) en función de los días después del trasplante (DDT) .....	57
<b>Tabla 2.16</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de raíz (MSR) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluviéjo, Sucre .....	58
<b>Tabla 2.17</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de tallo (MST) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluviéjo, Sucre .....	59
<b>Tabla 2.18</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de hojas (MSH) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluviéjo, Sucre. ....	60
<b>Tabla 3.1</b> Propiedades químicas del sustrato utilizado en el ensayo.....	75
<b>Tabla 3.2</b> Propiedades químicas del agua del ensayo.....	75
<b>Tabla 3.3</b> Registros históricos de las medias mensuales de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa (%), brillo solar (h) y velocidad del viento (km/d), en un rango de años de 1985 a 2016. Estación meteorológica Primates del municipio de Colosó .....	77
<b>Tabla 3.4</b> Tratamientos estimados a partir de la $ET_o$ .....	77
<b>Tabla 3.5</b> Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de los parámetros de intercambio gaseoso: fotosíntesis neta ( $P_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), transpiración (E), déficit de presión de vapor (DPV) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller.) variedad americana en función de las dosis de riego a los 90 DDT .....	81
<b>Tabla 3.6</b> Comparaciones de media del efecto de cuatro dosis de agua sobre las variables fotosíntesis ( $P_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), déficit de presión de vapor (DPV), transpiración (E) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller.) variedad americana a los 90 DDT .....	82
<b>Tabla 3.7</b> Matriz de correlación (r de Pearson) entre la masa seca total (MSTL) y los parámetros de intercambio gaseoso ( $P_n$ , $g_s$ , E, DPV y EUA) de las dosis de agua en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana a los 90 DDT .....	84

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 2.1</b> Respuesta de los parámetros de crecimiento en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller.) variedad americana, bajo las dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT): a). Altura de planta (AP), b). Area foliar (AF), c). Diámetro basal de tallo (DBT) y d). Número de hojas (NH) .....	51
<b>Figura 2.2</b> Respuesta de los parámetros de crecimiento en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller.) variedad americana en función de la dosis de agua en la etapa de vivero (15-90 DDT): a). Altura de planta (AP), b). Area foliar (AF), c). Diámetro basal de tallo (DBT) y d). Número de hojas (NH). ....	52
<b>Figura 2.3</b> Respuesta de la biomasa en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana durante la etapa de vivero (15-90 DDT) en función de las dosis de agua: a) Masa seca de raíz (MSR); b) Masa seca de tallo (MST); c) Masa seca de hoja (MSH); y d) Masa seca total (MSTL).....	54
<b>Figura 2.4</b> Respuesta de la biomasa durante etapa de vivero (15-90 DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana en función de las dosis de agua: a) Masa seca de raíz (MSR); b) Masa seca de tallo (MST); c) Masa seca de hoja (MSH); y d) Masa seca total (MSTL) .....	56
<b>Figura 3.1</b> Respuesta de los parámetros de intercambio gaseoso en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana en función de las dosis de riego a los 90 DDT: a) $P_n$ ; b) $g_s$ ; c) DPV; d) E; y e) EUA .....	82

## ANEXOS

Pág.

<b>ANEXO A.</b> Propiedades químicas del sustrato utilizado en el ensayo.....	102
<b>ANEXO B.</b> Propiedades químicas del agua utilizada en el ensayo .....	102
<b>ANEXO C.</b> Modelos de regresión de los parámetros de crecimiento altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal de tallo (DBT) y número de hojas (NH) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, bajo las dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT) .....	103
<b>ANEXO D.</b> Modelos de regresión de los parámetros de crecimiento: altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal de tallo (DBT) y número de hojas (NH) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana en función de la dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT) .....	104
<b>ANEXO E.</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable altura de plantas (AP) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después de trasplante (DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	104
<b>ANEXO F.</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable área foliar (AF) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	105
<b>ANEXO G.</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable diámetro basal (DBT) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	105
<b>ANEXO H.</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable número de hojas (NH) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	105
<b>ANEXO I.</b> Modelos de regresión de la masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hoja (MST) y masa seca total (MSTL) en la etapa de vivero (15-90 DDT) en plantas de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana en función de las dosis de agua .....	106
<b>ANEXO J.</b> Modelos de regresión de masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hojas (MSH) y masa seca total (MSTL) de la variedad americana de aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) en función de los días después del trasplante (DDT) .....	107
<b>ANEXO K.</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de raíz (MSR) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.....	108
<b>ANEXO L.</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de tallo (MST) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	108

<b>ANEXO M.</b> Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de hojas (MSH) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre .....	108
<b>ANEXO N.</b> Comparaciones de media del efecto de cuatro dosis de agua sobre las variables fotosíntesis ( $P_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), déficit de presión de vapor (DPV), transpiración (E) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller.) variedad americana a los 90 DDT .....	109
<b>ANEXO Ñ.</b> Matriz de correlación (r de Pearson) entre la masa seca total (MSTL) y los parámetros de intercambio gaseoso ( $P_n$ , $g_s$ , E, DPV y EUA) de las dosis de agua en aguacate ( <i>Persea americana</i> Miller) variedad americana a los 90 DDT .....	109

## RESUMEN GENERAL

El objetivo del estudio fue conocer los requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana en la etapa de vivero, con la implementación de un ensayo realizado durante el periodo comprendido entre los meses de mayo a septiembre de 2018. El trabajo experimental se llevó a cabo bajo condiciones controladas a nivel de vivero, en la vereda El Suan del municipio de Tolúviejo, en la subregión de los Montes de María del Departamento de Sucre (Colombia), ubicado a 09° 27' 07" latitud (N) y 75° 26' 30" longitud (W), con una elevación de 88 msnm. El estudio se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos, bajo sistema de riego por goteo y 4 repeticiones, para un total de 16 unidades experimentales, durante un periodo de 90 días después del trasplante (DDT). Se evaluaron las variables de crecimiento, altura de planta (Ap), número de hojas (NH), diámetro basal de tallo (DBT) y área foliar (AF); también fueron evaluadas las variables de acumulación y distribución de biomasa, masa seca de raíz (MSR), masa seca de hoja (MSH), masa de tallo (MST). Finalmente se evaluaron las variables de intercambio gaseoso, Fotosíntesis ( $P_n$ ) ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Conductancia Estomática ( $g_s$ ) ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Déficit de Presión de Vapor (DVP) (kpa), Transpiración (E) ( $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA). Con base a las respuestas halladas sobre estas variables y teniendo en cuenta el uso y manejo eficiente del agua se seleccionó un  $K_c$  de 0,8 para la etapa de vivero. Los resultados muestran que la Fotosíntesis ( $P_n$ ) fue influenciada significativamente ( $p<0,01$ ) por los efectos de las dosis de riego, este parámetro se incrementó con las dosis de riego hasta registrar una tasa de  $31,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ , a partir de la cual comenzó a decrecer. La Conductancia estomática ( $g_s$ ) respondió significativamente ( $p<0,01$ ) a los efectos de las dosis de agua. La respuesta de la variable  $g_s$  fue similar a la registrada por la variable  $P_n$ , pero en este caso el modelo ( $R^2=86,46\%$ ) señaló que la máxima respuesta de la  $g_s$  ( $42,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) se obtuvo con una dosis de riego de  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ . En cuanto a la Transpiración (E), esta fue influenciada significativamente ( $p<0,01$ ) por la dosis de riego, mostrando similar respuesta a la registrada por la  $P_n$ , la  $g_s$ . El modelo ( $R^2=76,36\%$ ) estima que la máxima E fue de  $1,08 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , siendo obtenida con una dosis de riego de  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ . El DVP respondió significativamente ( $p<0,01$ ) a los efectos de las dosis de riego y de igual forma este parámetro mostró similar respuesta a las registradas por las variables  $P_n$  y  $g_s$ . De acuerdo al modelo ( $R^2=57,64\%$ ), el máximo DVP que experimentaron las hojas fue de  $5,12 \text{ kpa}$  con una dosis de riego de  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ . Por último la EUA respondió ( $p<0,01$ ) a los efectos de las dosis de agua, la cual disminuye con el incremento de las dosis de agua. Esta respuesta fue explicada por un modelo de regresión cuadrática ( $R^2=96,63\%$ ), donde la EUA inicialmente disminuyó con la dosis de agua, pero tiende a incrementarse a partir de los  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ , donde el mayor valor de EUA se presentó con la dosis de agua más baja ( $2,3 \text{ mm d}^{-1}$ ).

**Palabras claves:** aguacate, requerimiento hídrico, dosis de agua, intercambio gaseoso, fotosíntesis, conductancia estomática, condiciones controladas.

## GENERAL ATRACT

The objective of the study was to know the water requirements of the avocado crop (*Persea americana* Miller.) American variety in the nursery stage, with the implementation of a trial conducted during the period from May to September 2018. Experimental work It was carried out under controlled conditions at the nursery level, in the El Suan village of the municipality of Toluviejo, in the subregion of the Montes de María of the Department of Sucre (Colombia), located at 09 ° 27 '07 "latitude (N) and 75 ° 26 '30 "longitude (W), with an elevation of 88 meters above sea level. The study was conducted under a completely randomized design (DCA) with 4 treatments, under drip irrigation system and 4 repetitions, for a total of 16 experimental units, during a period of 90 days after transplantation (DDT). Growth variables, plant height (Ap), number of leaves (Nh), stem diameter (Dt) and leaf area (Af) were evaluated; The variables of biomass accumulation and distribution, dry root mass (MSR), dry leaf mass (MSH), stem mass (MST) were also evaluated. Finally, the gas exchange variables were evaluated, Photosynthesis ( $P_n$ ) ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Stomatic Conductance ( $g_s$ ) ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Vapor Pressure Deficit (DVP) (kpa), Transpiration (E) ( $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) and Water Use Efficiency (WUE). Based on the answers found on these variables and taking into account the efficient use and management of water, a  $K_c$  of 0, 8 was selected for the nursery stage. The results show that Photosynthesis ( $P_n$ ) was significantly influenced ( $p < 0.01$ ) by the effects of the irrigation doses, this parameter was increased with the irrigation doses until registering a rate of  $31,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  with  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ , from which it began to decrease. Stomatic Conductance ( $g_s$ ) responded significantly ( $p < 0.01$ ) to the effects of water doses. The response of the variable  $g_s$  was similar to that recorded by the variable  $P_n$ , but in this case the model ( $R^2 = 86.46\%$ ) indicated that the maximum response of the  $g_s$  ( $42,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) was obtained with an irrigation dose of  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ . Regarding Transpiration (E), it was significantly influenced ( $p < 0.01$ ) by the irrigation dose, showing a similar response to that recorded by  $P_n$ ,  $g_s$ . The model ( $R^2 = 76.36\%$ ) estimates that the maximum E was  $1,08 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , being obtained with an irrigation dose of  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ . The DVP responded significantly ( $p < 0.01$ ) to the effects of irrigation doses and in the same way this parameter showed a similar response to those recorded by the variables  $P_n$  and  $g_s$ . According to the model ( $R^2 = 57.64\%$ ), the maximum DVP experienced by the leaves was  $5,12 \text{ kpa}$  with an irrigation dose of  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ . Finally, the WUE responded ( $p < 0.01$ ) to the effects of water doses, which decreases with increasing water doses. This response was explained by a quadratic regression model ( $R^2 = 96.63\%$ ), where the WUE initially decreased with the water dose, but tends to increase from  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ , where the highest value of WUE is presented with the lowest water dose ( $2,3 \text{ mm d}^{-1}$ ).

**Keywords:** avocado, water requirement, water dose, gas exchange, photosynthesis, stomatal conductance, controlled conditions.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL**



## 1.1 INTRODUCCIÓN

El aguacate es una fruta tropical que ha venido escalonando posiciones a lo largo de las dos últimas décadas, lo cual le ha permitido ganar aceptación entre los consumidores, logrando que su consumo se haya incrementado bajo diferentes presentaciones, no únicamente limitado al consumo en fresco, sino también procesado y en la industria cosmética. Pertenece a la familia de las Lauráceas, que está formada por 52 géneros y cerca de 3.500 especies; esta es una de las familias más primitivas de las dicotiledóneas. En esta familia hay especies de gran importancia económica, productoras de aceites esenciales, como el alcanfor (*Cinnamomun camphora*) y de especias como la canela (*Cinnamomun zeylanicum* Ness) y maderas finas (Bernal y Diaz, 2008). Su producción mundial se cuadruplicó en los últimos 40 años alcanzando 2,7 millones de toneladas en el 2002. Para el 2004, solo un 0,01% de la producción global se exportaba y únicamente 5 países son los responsables de más de la mitad de las exportaciones globales de aguacate. Estas cifras hacen pensar que en el mediano plazo habrá un crecimiento moderado de los volúmenes transados de aguacate en el mercado internacional (ICA, 2012).

Según información reportada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR (2018) Colombia es el cuarto país productor de Aguacate en el ranking mundial, y el tercero en cuanto a área cosechada, con participación del 6% del área mundial. Cuando se da la producción más alta en el país, se compite en el mercado internacional con países como Egipto y Arabia Saudita, quienes sacan ventaja con los menores costos producción, para así dominar el mercado europeo. En cuanto a las importaciones de aguacate, estas han disminuido en un 96% en los últimos 4 años, pasando de 3.128 toneladas reportadas en el 2014 a 133 toneladas en el 2017. Por su parte las exportaciones han mostrado un incremento exponencial en el mismo periodo de tiempo pasando de 1.760 toneladas en el año 2014 a 28.487 para el año 2017.

El 86% del total de área sembrada en el país se encuentra distribuida entre los departamentos de Tolima, Antioquia, Caldas, Santander, Bolívar, Cesar, Valle del Cauca, Risaralda y Quindío, siendo Tolima el departamento con mayor producción, con participación del 18% del total nacional. La dinámica de producción en el país gira alrededor de 13.000 productores que manejan un aproximado de 18.113 unidades productivas en las que tienen como principal actividad económica el cultivo de aguacate (MADR, 2018).

Es importante anotar que el cultivo de aguacate requiere una extensión considerable e inversión económica media para su instalación y mantenimiento, dificultado al pequeño productor la implementación de este cultivo, lo que se refleja en el menor número de pequeños productores dedicados al cultivo de este frutal, esto en comparación con los agricultores que se dedican a la explotación de cultivos de ciclo corto. Por su parte, sumado a lo anterior el desconocimiento de nuevas tecnologías en el cultivo ha provocado que los rendimientos sean menores comparados con otros países dedicados a la explotación de esta fruta (Huraca, Viteri, Sotomayor, Viera, y Jiménez, 2016).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cinco países concentran el 80.57% de la producción mundial de aguacate entre los que se destacan México como el productor más importante, seguido de República Dominicana, Perú, Indonesia, y Colombia (FAO, s.f) citado en (Arias, Montoya y Velásquez, 2018). Por su parte América Latina es considerada una región promisoría para la producción y exportación de aguacates en fresco, y en este sentido Colombia y Perú se consideran los principales países que pueden tener las mejores opciones para un mayor margen de crecimiento, esto debido a la disponibilidad de tierras aptas para dicho cultivo, en comparación con México, que ya presenta dificultades con el encarecimiento de la tierra y los problemas asociados a cambios climáticos, los cuales dificultan la expansión de su producción (Schwartz, Maldonado, Luchsinger, Lizana y Kern, 2018).

De igual manera, dentro de los frutales el aguacate ocupa el segundo lugar en el renglón frutícola del país, después de los cítricos, con un área de 58.784 ha y un rendimiento de 7.2 t/ha (DANE, 2015). En este sentido, la producción de aguacate en Colombia está distribuida en 5 zonas que son: Zona occidente - eje cafetero, donde están los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca, con un área sembrada de 32.146 ha; zona centro, conformada por el departamento del Tolima con 15.325 ha sembradas; zona costa atlántica, integrada por los departamentos de Bolívar, Sucre y Cesar con 8.270 ha establecidas; zona santanderes, donde se encuentra el departamento de Santander que cuenta con un área sembrada de 6.375 ha; y finalmente la zona oriente, integrada por los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Meta, Casanare y Arauca, con un área sembrada de 11.420 ha (MADR, 2018). Cabe anotar además, que Colombia en 2010 fue el quinto mayor productor mundial de aguacate con 201.869 toneladas, sin embargo a pesar de ser un productor de gran potencial exportador por sus altos volúmenes de producción, debe recurrir a su importación para cubrir la demanda interna (Yabrudy, 2012).

En relación al municipio del Carmen de Bolívar, este es considerado el que produce la mayor parte del aguacate del departamento de Bolívar, el 78,2% de la producción de la región proviene de la alta montaña en este municipio, le siguen en este orden San Jacinto (21,3%), Barranco de Loba (0,2%) y El Peñón (0,2%), aunque existe un referente de San Jacinto como el municipio de mayores rendimientos por hectárea en los Montes de María, con 18 toneladas por hectáreas, mientras que el Carmen de Bolívar produjo 12 toneladas por hectárea. Asimismo la variedad que más se produce en los Montes de María es la Antillana con algunas de sus variaciones conocidas comúnmente como “leche” y “Manteca” (Barrera y López, 2008). Igualmente en lo que corresponde al departamento de Sucre, los municipios que producen aguacate son Ovejas, Chalán y Colosó, en los cuales como en la mayoría de los Montes de María, la producción de aguacate es de subsistencia y genera márgenes de rentabilidad bajos para los campesinos (Ramírez y Pérez, 2018).

En este orden de ideas cabe anotar, que son pocos los estudios que se han realizado en la zona, en torno a requerimientos hídricos del cultivo de aguacate desde la etapa de vivero. En relación a lo anterior es importante tener en cuenta que los árboles de aguacate son muy sensibles a los déficits hídricos, se ha determinado que su inflorescencia es más sensible a los déficit hídricos que las hojas circundantes, de igual forma el exceso de agua afecta también las relaciones hídricas del árbol de aguacate y por lo tanto, su funcionamiento general (Steduto, Hsiao, Fereres, y Raes, 2012). Sumado a lo anterior, existen en la zona de estudio, plantaciones susceptibles a enfermedades, con bajas producciones, falta de homogeneidad en el tamaño del fruto y bajos rendimientos, que generan un detrimento en la competitividad del aguacate montemariano. De acuerdo a lo planteado por Yabrudy (2012), el aguacate en Colombia presenta una tendencia decreciente tanto en el área cultivada (-4,4%) como en la participación de la producción de la zona en el total de la producción nacional en 3,7 puntos porcentuales (pp) desde el año 2000.

Sumado a lo anterior, hay un desconocimiento del manejo agronómico de este cultivo en Colombia, situación que limita la utilización de herramientas tecnológicas tendientes a mejorar los resultados productivos; uno de estos factores importantes es el riego bien manejado, ya que como se dijo anteriormente, es una de las principales limitantes para el crecimiento, desarrollo y producción; el exceso de agua puede ocasionar lixiviación de los nutrientes, lo cual afecta la capacidad productiva del recurso suelo y aumenta los costos de producción, mientras que el déficit hídrico puede provocar un bajo crecimiento y muerte de las plántulas (Lahav, Steinhardt y Kalmar (1992), citados en Vergara, Mercado, Jarma y Gatti (2017). Esta problemática no es ajena o excluye a la región de estudio, donde se ha venido cultivando el aguacate criollo o antillano tradicionalmente con muy poca o casi nula transferencia de tecnología.

Por tal razón es de suma importancia técnica y económica para el productor de aguacate, contar con información objetiva y veraz que determine la dosis de agua óptima en etapa de vivero (requerimiento hídrico), la cual, permitirá un mejor crecimiento y desarrollo a las plantas de aguacate, lo que repercute directamente con el ingreso y calidad de vida de los productores de la región de los montes de María. Por ello surge el siguiente interrogante: ¿Cuál es el requerimiento hídrico del aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en etapa de vivero, bajo condiciones controladas en Toluviejo, Colombia?

## 1.2 GENERALIDADES

**1.3.1 Origen, taxonomía y distribución de la especie.** Según Barrientos y López (2014) el origen del aguacate tuvo lugar en las partes altas del centro y este de México, y partes altas de Guatemala, regiones que a su vez están incluidas en lo que se conoce como Mesoamérica, considerada como el área donde se llevó a cabo la domesticación del mismo. A partir de ese centro de origen, el aguacate se dispersó hacia Norteamérica por México hasta el Sudeste de los EEUU; hacia Las Antillas, todo Centroamérica y gran parte de Sudamérica, Colombia, Venezuela, Las Guayanas, Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. Esa dispersión tan amplia a través de las áreas de desarrollo de civilizaciones antiguas, halla explicación en la alta estima que los indígenas tenían por ese fruto carnoso, tan nutritivo y de sabor único; sin embargo, según Sánchez (1999) el aguacate era consumido por pueblos nativos desde hace casi 10.000 años, y que posiblemente el cultivo como tal, se habría empezado a establecer hace unos 6.000 años.

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae, este se caracteriza por presentar una gran diversidad morfológica (Rowher, 2000). Su filogenia ha sido difícil de estudiar, por lo que las relaciones dentro de la familia aún no se han definido totalmente, y por lo tanto, su taxonomía y nomenclatura son poco claras. Sin embargo, se sabe que en la actualidad el género *Persea* contiene alrededor de 85 especies, y según lo expuesto por Barrientos y López (2014), la mayoría se encuentran desde el sur de los Estados Unidos (*Persea borbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*) con las excepciones *Persea indica* que se encuentra en las Islas Canarias (España) y probablemente otras del sur de Asia que se piensa pertenecen al género *Persea*, el cual se divide en dos subgéneros: *Persea* y *Eriodaphne*, cuya diferencia principal radica en la pubescencia de la cara interior de los sépalos; para el caso de *Persea*, este posee ambas caras pubescentes y en el caso de *Eriodaphne* la cara interna es sin pubescencia.

El aguacate cuya especie es *Persea americana* Miller pertenece al subgénero *Persea*, que es conocido como el verdadero aguacate y que posee un tamaño mayor con relación a los del otro subgénero.

**1.3.2 Limitantes tecnológicas.** En la producción y competitividad del aguacate, actualmente se presenta el bajo desarrollo tecnológico del cultivo y su transferencia, los deficientes canales de comercialización y las pérdidas causadas por plagas. Casos como el de la región de Nayarit (México) evidencian las distintas limitantes a las que se enfrentan los cultivadores de aguacate alrededor de los procesos productivos, cuyas limitantes radican básicamente en lo pequeño de las unidades de producción (la mayoría son de una a cinco hectáreas), el difícil acceso al crédito, la no aplicación de paquetes tecnológicos, la falta de riego, la insuficiente investigación y asistencia técnica, así como el bajo valor agregado por a falta de infraestructura para seleccionar, empacar y transformar el aguacate (Morales y Gamboa, 2010).

Colombia no es ajena a estas limitantes tecnológicas, y en relación a esto el MADR (2018) reporta a la región centro occidente del país, como la de mayor avance en

tecnificación de los cultivos, donde se cuentan con los mejores técnicos de aguacate en el país, una importante cobertura de asistencia técnica y los mejores cultivos establecidos. En la región central y los santanderes, se percibe en menor medida un avance en la tecnificación de los cultivos, con limitaciones importantes en la disponibilidad de asistentes técnicos capacitados en el tema del aguacate, una relativa informalidad del agricultor y poca asociatividad. Por su parte en la región caribe en su mayoría la tecnificación de los cultivos es nula, ya que estos se pueden catalogar como bosques nativos de aguacate o simplemente cultivos de recolección, dando lugar al envejecimiento generalizado de estos y la creciente problemática fitosanitaria, que ha traído consigo la muerte progresiva de los árboles.

En ese sentido se hace necesario priorizar el desarrollo de material vegetal genéticamente confiable y fitosanitariamente sano, que garantice huertos uniformes y saludables, que lleven de la mano el fortalecimiento de la investigación en aguacate, encaminada a temas puntuales y propios de las condiciones agroclimáticas colombianas, que partan de las necesidades del eslabón primario y que permitan generar una oferta tecnológica para el manejo del aguacate en las condiciones del trópico colombiano y no depender únicamente de las experiencias chilenas y mexicanas, que han sido tratadas de adaptar por los productores y asistentes técnicos al ámbito colombiano. Se deben aunar esfuerzos en la renovación de cultivos, con acompañamiento técnico y empresarial en aquellas regiones donde el aguacate carece de manejo tecnificado y donde existe una amplia base social dependiente de este rubro; como es el caso de la región caribe y concretamente de Los Montes de María (MADR, 2014).

En este orden de ideas y como un plan de choque frente a las limitantes tecnológicas del cultivo, un componente fundamental que permite elevar el impacto del desarrollo tecnológico en aguacate, ha sido el establecimiento de alianzas estratégicas institucionales las cuales se han venido realizando entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA o AGROSAVIA) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, integrando las fortalezas científicas, tecnológicas, económicas y de infraestructura, favoreciendo la definición y desarrollo de proyectos productivos en áreas temáticas, sociales y geográficas de prioridad nacional (Bernal y Díaz, 2008).

**1.3.3 Fundamentos del riego.** Un sistema de riego es diseñado con la intención de suplir el consumo la humedad que el suelo pierde por evaporación directa y por transpiración del cultivo (García y Briones, 1989). Para comprender la estimación de los requerimientos hídricos de cualquier cultivo y en este caso del aguacate, es importante tener claridad en los fundamentos del riego y en conceptos como la evaporación, la transpiración y la evapotranspiración (ET), para que de esta manera se entienda y se dé respuesta a la necesidad específica de cada planta y por ende saber cuánta agua aplicar en cada caso.

Respecto a la evaporación, esta se refiere al proceso por el cual el agua pasa de la superficie del suelo a la atmósfera en forma de vapor. La evaporación es más intensa cuanto más seco sea el ambiente y mayor la temperatura del aire reinante, al igual que

también será mayor cuanto más húmedo esté el suelo en la superficie ya que el agua estará más disponible para ser evaporada y cuanto mayor sea el viento reinante en la zona. Así mismo la transpiración está relacionada con la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

En relación a la evapotranspiración (ET), esta se fundamenta en la combinación de los dos anteriores procesos separados mencionados, el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. El concepto de evapotranspiración (ET) introduce al estudio la demanda de agua por la atmósfera independientemente del tipo de planta, desarrollo y prácticas de manejo. La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo (FAO, 2006).

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (FAO, 2006).

Por su parte es de suma importancia el conocimiento y estimación de la evapotranspiración (ET) con exactitud en un rango de más o menos un diez por ciento de los requerimientos de agua verdaderos es indispensable para un manejo eficiente del riego, con implicaciones directas en el ahorro de agua e incremento en el rendimiento de los cultivos. Es importante mencionar que factores como el tipo de suelo, el nivel de humedad, las prácticas culturales y variedad, cobran importancia y afectan la magnitud de la evapotranspiración (Jiménez, 1992).

En relación a la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) la cual se considera uno de los parámetros más importantes en la determinación de requerimientos hídricos de un cultivo, Pizarro (1993) la define como la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas de 8 a 15 cm de altura, uniforme, de crecimiento activo, que sombrean totalmente el suelo y que disponen de agua abundante. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo (FAO, 2006).

Por otra parte, un amplio rango de ecuaciones ha sido desarrollado para estimar la  $ET_0$  a partir de datos meteorológicos. Sin embargo, Allen, Pereira, Raes y Smith (2006), citado en Grajales (2017), sostienen que el modelo más recomendado para estimar la

ET<sub>o</sub> es FAO Penman-Monteith. Este modelo requiere de mediciones simultáneas de variables climáticas como: Temperatura Máxima y Mínima (°C), Humedad Relativa (%), Brillo solar (horas día y W/m<sup>2</sup>) y Velocidad del viento (km/h).

La ecuación que representa este modelo es la siguiente:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

- ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración de referencia (mm.d<sup>-1</sup>)
- R<sub>n</sub>: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>)
- G: Flujo del calor de suelo (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>)
- T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- U<sub>2</sub>: Velocidad del viento a 2 m de altura (m.s<sup>-1</sup>)
- e<sub>s</sub>: Presión de vapor de saturación (kPa)
- e<sub>a</sub>: Presión real de vapor (kPa)
- (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>): Déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa.°C<sup>-1</sup>)
- γ: constante psicrométrica (kPa.°C<sup>-1</sup>)

En referencia a lo anterior se relaciona también lo que se conoce como evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>), y hace referencia a la evapotranspiración (ET) que presenta un cultivo determinado durante sus etapas fenológicas, desde que se efectúa la siembra hasta la cosecha, ocupando toda un área disponible, sin restricciones de humedad en el suelo. De la relación entre la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) y la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) surge lo que se conoce como el coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>), el cual presenta variaciones a lo largo del desarrollo del cultivo (Allen et al., 2006).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

De la anterior fórmula se deriva la ecuación de uso consuntivo que permite estimar la dosis de agua:

$$UC = K_c * ET_o \text{ (mm / día)}$$

En consecuencia, con lo anterior se puede afirmar que uno de los objetivos principales de la gestión de un sistema de riego es maximizar los rendimientos de las cosechas por volumen de agua consumida por el sistema.

En términos generales, se manejan tres tipos básicos de riego: superficial, por aspersión, y por goteo el cual cobra especial importancia en ensayos a nivel de viveros como en el caso del presente estudio, o cuando el agua es limitada y costosa (Fernández, Ávila, López, Gavilán y Oyonarte, 2010).

De acuerdo a Fajardo, Benítez, Rivera, Rodríguez, y Bernal (2016), en el riego superficial el agua se desplaza sobre el área a regar como consecuencia de la diferencia de cota entre un punto y otro, por acción de la fuerza de gravedad, de tal forma que puede cubrir total o parcialmente el área de interés. Por otra parte, en el caso del riego por aspersión el agua llega a las plantas en forma de lluvia; esta es distribuida por tuberías a presión y aplicada a través de aspersores en forma de lluvia, donde se busca aplicar una lámina que sea capaz de infiltrarse en el suelo sin generar escorrentía (Jara y Valenzuela, 2008). Finalmente en cuanto a riego por goteo Lecaros (2011), sostiene que se busca a través de este un suministro de agua constante y uniforme gota a gota, que permita mantener el agua de la zona radicular en condiciones de baja tensión.

**1.3.4 Estrés hídrico en las plantas.** Cuando la lluvia o el riego son insuficientes, se presentan situaciones de estrés hídrico que hacen que los valores de evapotranspiración estén por debajo de la evapotranspiración de cultivos ( $ET_c$ ) en condiciones estándar (FAO, 2006). Es decir, el estrés por déficit hídrico o por sequía es una respuesta de las plantas a un ambiente limitado de agua, en el que el balance que existe entre la transpiración y la toma de agua se rompe.

Cabe registrar, además, que el déficit hídrico no ocurre solamente cuando hay poca agua en el ambiente, sino que también se puede dar por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones, capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980).

El estrés hídrico genera cambios en los procesos de desarrollo vitales de las plantas, que a su vez tienen varias consecuencias sobre el crecimiento de las mismas. Uno de los efectos más importantes es la limitación de la expansión foliar, aunque en este caso, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación de la planta a la poca disponibilidad de agua. Otro proceso que se ve alterado es el crecimiento del sistema radicular, ya que la escasa disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo en busca de agua en zonas más profundas del suelo, mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés (Potters, Pasternak, Guisez, Palme y Jansen (2007); Shao, Chu, Cheruth y Zhao (2008).



Para Davies y Albrigo (como se citó en Orduz-Rodríguez y Fischer, 2007), con el déficit hídrico cesa el crecimiento de los tallos y del sistema radical; además dependiendo de la intensidad del estrés se puede presentar marchitez de la hoja, disminución de la conductancia estomática, de la asimilación neta de  $\text{CO}_2$  y de la conductividad radical.

**1.3.5 Riego en aguacate.** El objetivo principal del riego es la aplicación del agua en el momento preciso y con la cantidad precisa de agua. Mediante el cálculo del balance diario del agua presente en la zona radicular del suelo, se pueden planificar las láminas y los momentos de aplicación del riego. Para evitar el estrés hídrico se debe aplicar el riego antes, o en el momento, de agotarse la lámina de agua fácilmente extraíble del suelo (FAO, 2006).

Por otra parte también, de acuerdo a la edad, tamaño y densidad del follaje, las plantas de aguacate presentan diferencias en relación a los requerimientos hídricos, de igual forma de acuerdo a la época del año y del estado fisiológico en que la planta se encuentra. Plantas jóvenes, presentan un sistema radicular reducido, y como tal sus exigencias hídricas serán acorde a esta etapa de desarrollo, por lo tanto el riego se deben suministrar en pequeñas proporciones de forma frecuente (Rodríguez, 2003).

En este sentido, para determinar la cantidad de agua a aplicar, es necesario establecer el valor de la evapotranspiración del cultivo, su estado fenológico, temperatura, humedad relativa, régimen de precipitación en la zona y características del suelo. De este modo es primordial ubicar acertadamente los equipos de riego, calibrarlos y realizar el mantenimiento oportunamente, evitando errores en el manejo y frecuencia del riego. De este modo uno de los sistemas de riego que más se recomienda para implementar, son los sistemas de riego localizado, por su precisión y economía frente al recurso hídrico (Alarcón, Arévalo, Díaz, Galindo y González, 2012).

Por su parte teniendo en cuenta que el manejo del agua en el cultivo de aguacate, es un factor incidente de la producción, se han realizado investigaciones enfocadas hacia el estudio de los requerimientos hídricos del cultivo de aguacate, en las que se intenta estimar las cantidades de agua apropiadas sin que se llegue al déficit hídrico y sin que se afecte la aireación de los mismos a nivel de raíz, por exceso de agua (Lahav y Kalmar, 1983). Desde este punto de vista, es importante estimar los requerimientos hídricos mediante la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) de la zona de estudio, ya que permite tener una aproximación real del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) y, por tanto, de los requerimientos hídricos de este (FAO, 2006).

En este orden de ideas es claro, que la productividad en el cultivo de aguacate manejado con riego de forma adecuada, es notoriamente diferente en comparación a la que se obtiene sin irrigación, esto es evidenciable también en el vigor y aspecto que muestra el árbol. Salgado (1990), sostiene que, en la mayoría de los frutales, la disponibilidad de agua tiene unos efectos tanto en la cosecha del año, como también sobre otros procesos fisiológicos, que, sin ser visibles y aparentes, determinan en alguna medida los parámetros de producción de la temporada siguiente.

Según Whiley, Chapman y Saranah (1988) el no manejar adecuadamente los requerimientos hídricos, puede generar las mayores pérdidas a nivel de floración y desarrollo de frutos; además, para Lahav y Kalmar (1983), el aporte hídrico garantiza un buen tamaño del fruto.

Por su parte Gardiazabal, Magdahl, Mena y Wilhelmy (2003) en un ensayo realizado durante dos años en un huerto comercial de aguacate (cv. Hass), evaluaron los valores del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) recomendados para aguacate en California y determinaron la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ). Durante el ensayo se aplicaron volúmenes de agua correspondientes al 90%, 100%, 110% y 130% de la  $ET_c$ , determinados en base a los valores de  $K_c$  recomendados y a la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), estimada por el método de Penman-Monteith modificado. Durante el análisis de los rendimientos se encontró que el tratamiento del 90% de  $ET_c$  fue el de menor producción de fruta y el de menor calibre, en relación a los demás tratamientos, generando 35% menos de ingresos al productor comparado con el tratamiento de 100% de  $ET_c$ ; el tratamiento regado con 110% de  $ET_c$  produjo 13% más de ingresos para el productor.

De igual manera, estudios realizados en California por Faber, Arpaia y Yates (1995) indican que el cultivo de aguacate Hass mostró mayores rendimientos cuando se aplicaron láminas de agua equivalentes al 70% de  $ET_o$  ( $K_c$ : 0,7), por su parte los tratamientos que manejaron cantidades de agua mayores, relacionadas con el 110% de  $ET_o$  ( $K_c$ : 1,1), mostraron una disminución en los rendimientos aproximada al 50%. Por otra parte Bozzolo (1993) haciendo un análisis de datos climático y evaluación de láminas de riego, estimó para dos huertos de aguacate coeficientes de cultivo de 0,5 en primavera, 0,65 en verano y 0,55 en otoño, para las condiciones de Quillota (Chile). De igual forma, Cardemil (1999) bajo similares condiciones definió coeficientes de 0,6 a 0,7 entre los meses de julio a noviembre, y de 0,8 a 0,9 en verano.

Al respecto, Tapia, Larios, Salazar y Anguiano (2007) determinaron, para las condiciones de Michoacán (México), que el requerimiento del aguacate en el período de estiaje (diciembre a mayo) varía de acuerdo a la ubicación de las plantaciones en cuanto a clima y altitud, así como con las características de drenaje del suelo.

Por otro lado en un estudio de la aptitud agroclimática e identificación de nichos productivos de bajo riesgo de déficit hídrico para el cultivo de Aguacate (*Persea americana* Miller) variedades Hass y Choquette en el municipio de Fresno, en el departamento del Tolima, Colombia, se concluyó principalmente que este municipio presenta una aptitud óptima para el cultivo de aguacate con 21.819 ha potencialmente utilizables, por presentar bajo riesgo agroclimático, sin embargo, el 98% del área presenta alto riesgo por déficit hídrico para el cultivo. Esto indica que se requiere la planificación de labores y estrategias de mitigación para enfrentar las deficiencias durante la producción de aguacate. Al respecto, prácticas de cultivo y uso de especies locales que toleran esta condición hacen parte de las medidas adoptadas por los productores de esta región, resaltando también que en la actualidad la mayor parte de los productores se ubican en las áreas con suelos óptimos o condicionados a prácticas

de manejo, pero con alta exposición a déficit hídrico (Martínez, Deantonio, Aguilera, Araujo, Ortiz, Rojas, Gamboa y Boshell, 2015).

**1.2.6 Aspectos generales del cultivo de aguacate en los Montes de María.** Los Montes De María es una subregión de economía campesina, la evolución de la economía de esta subregión en la primera década del siglo XXI y su potencial productivo, está basada en actividades agropecuarias, con tradición en ganadería bovina y cultivos campesinos de yuca, ñame, maíz, arroz, plátano, tabaco, café y aguacate. A través del tiempo ha mostrado un bajo desarrollo económico que estuvo limitado por los problemas de violencia e inseguridad, la alta concentración de la tierra y los altos niveles de pobreza y miseria. No obstante, posee un potencial económico por desarrollar como los cultivos agroindustriales y forestales, así como también el aspecto turístico (Aguilera, 2013).

Yabrudy (2012) en sus estudios del cultivo de aguacate en Colombia y el caso de Los Montes De María, identificó algunos factores que afectan las producciones de aguacate, los cuales le han impedido a Colombia convertirse en un competidor importante en el mercado internacional. En el caso especial de los Montes de María los factores identificados que han afectado de manera significativa el desarrollo de este cultivo han sido las malas prácticas agrícolas, la plaga phytophthora, la casi nula tecnificación de los cultivos y la violencia que golpeó la subregión. Las conclusiones indican que los agricultores de la región Caribe deben trabajar de la mano de los centros de investigación, para la puesta en marcha y desarrollo de técnicas que permitan mejorar sus prácticas agrícolas actuales.

El montaje de plantas para el procesamiento de pulpa, extracción de aceite y producción de polvo de aguacate, se convierten en una opción viable con el fin de dar impulso al sector. Varios han sido los departamentos que le están apostando como alternativa de desarrollo rural: Tolima, Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Cauca y Santander han iniciado procesos interesantes, los cuales involucran la inversión y el acompañamiento de las instituciones gubernamentales, como también de ONG y gobiernos internacionales. Dichas ayudas han sido de importante apoyo para la consolidación del sector. Este tipo de iniciativas deben ser replicadas en los departamentos de Bolívar y Sucre, con el fin de mejorar al sector aguacatero de la zona (Yabrudy, 2012).

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Determinar los requerimientos hídricos del aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero bajo condiciones controladas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto de cuatro dosis de agua sobre las variables de crecimiento y determinar el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) en etapa de vivero bajo condiciones controladas para aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana.
- Determinar los efectos de cuatro dosis de agua sobre las variables de intercambio gaseoso del aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana bajo condiciones controladas en etapa de vivero.

## 1.4 LITERATURA CITADA

- Arias, F., Montoya, C., y Velásquez, O. (2018). Dinámica del mercado mundial de aguacate. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (55), 22 -35. Recuperado de <https://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/994/1442>
- Aguilera, M. (2013). *Montes De María: Una subregión de economía campesina y empresarial*. Documento de trabajo sobre economía regional, Banco de la República. Cartagena, Colombia. Recuperado de <http://docplayer.es/16518667-Montes-de-maria-una-subregion-de-economia-campesina-y-empresarial.html>
- Alarcón, J., Arévalo, A., Díaz, A., Galindo, J., y González, M. (2012). *Manejo Fitosanitario Del Cultivo Del Aguacate Hass*. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje*. 56,1-323. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>.
- Barrientos, A y López, L. (2014). *Historia y genética del aguacate*. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. México-Texcoco. Chapingo, Edo. De México. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex\\_1998-2001/cictamex\\_1998-2001\\_pg\\_100-121.pdf](http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex_1998-2001/cictamex_1998-2001_pg_100-121.pdf)
- Barrera, E y López, L. (2008). *Diagnóstico de mercados internacionales para productos agroindustriales potenciales en Bolívar: el caso del aguacate*. Cámara de Comercio de Cartagena, Area de investigaciones económicas, serie avances de investigación (2). Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=iIMFMWnTm7EC&lpg=PP1&hl=es&pg=PA13#v=onepage&q&f=true>
- Bernal, J y Díaz, C. (2008). *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia, Colombia. Manual Técnico 5.
- Bozzolo, E. (1993). *Aproximación a la determinación de los coeficientes de cultivo (Kc) en palto (Persea americana Mill.) cv. Hass para la zona de Quillota. V Región*. Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/A-B-C/BozzoloEduardo1993.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/A-B-C/BozzoloEduardo1993.pdf)

- Cardemil, G. (1999). *Aproximación a los requerimientos hídricos del palto (Persea americana Mill) cv. Hass para la provincia de Quillota*. Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/A-B-C/CardemilGustavo1999.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/A-B-C/CardemilGustavo1999.pdf)
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2015). Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2015. Boletín técnico. Bogotá. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2015/boletin\\_ena\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2015/boletin_ena_2015.pdf)
- Davies, F y Albrigo, L. (1994). *Citrus*. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 254.
- Grajales, L. (2017). *Uso racional del agua de riego en cultivos de aguacate Hass (Persea americana) en tres zonas productoras de Colombia*. Tesis de maestría, programa de maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Colombia.
- Fajardo, E., Benítez, D., Rivera, A., Rodríguez, N., y Bernal, R. (2016). Sustrato y sistemas de riego óptimos para la producción de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista I3+*, 3(1), 72 - 87.
- Fernández, R., Ávila, R., López, M., Gavilán, P., y Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores. Módulo1: Fundamentos del Riego*. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería De Agricultura Y Pesca. Sevilla, España. Signatura Ediciones de Andalucía, S.L. Recuperado de [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento\\_del\\_riego\\_1.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento_del_riego_1.pdf)
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO. (s.f.). FAOSTAT - Visualizador de datos de producción mundial. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Faber, B., Arpaia, M., y Yates, M. (1995). *Irrigation management of avocado in a California coastal environment*. Ponencia presentada en: World Avocado Congress III. Israel.
- Gardiazabal, F., Magdahl, C., Mena, F., y Wilhelmy, C. (2003). *Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) para paltos cv. Hass en Chile*. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5\\_p329.pdf](http://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p329.pdf)

- García, I y Briones, G. (1989). *Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo*. UAAAN. Saltillo, Coah. México.
- Huraca, H., Viteri, P., Sotomayor, A., Viera, W., y Jiménez, J. (2016). *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de aguacate (Persea americana Mill.)*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Ecuador.
- ICA. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (Persea americana Mill): Medidas para la temporada invernal*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/4b5b9b6f-ecfc-46e1-b9ca-b35cc1cefee2/->
- Jara, J y Valenzuela, A. (2008). *Desarrollo de sistemas de riego en el secano interior y costero. Componente Nacional: Capacitación y Difusión de Tecnologías de Riego*. Comisión Nacional de Riego. Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
- Jiménez, H. (1992). *Hidrología Básica*. Universidad del Valle. Cali. Colombia.
- Lecaros, J. (2011). *El Riego Por Goteo*. Seminario Internacional De Riego Y Fertirrigación. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo. Perú.
- Lahav, E. Steinhardt, R y Kalmar, D. (1992). *Water requirements and the effect of salinity in an avocado orchard on clay soil*. Proc of Second World Avocado Congress. 323-330.
- Lahav, E y Kalmar D. (1983). Determination of the irrigation regimen for an avocado plantation in spring and autumn. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34,717- 724.
- Levitt, J. (1980). *Responses of plants to evironmental stresses*. Volume II. Water, Radiation, Salt, and Other Stresses. Academic Press. A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. New York.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2018). Cadena de aguacate, indicadores e instrumentos. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2018-08-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Martínez, F., Deantonio, L., Aguilera, E., Araujo, G., Ortiz, L., Rojas, E., Gamboa, M., y Boshell, F. (2015). *Aptitud Agroclimática E Identificación De Nichos Productivos De Bajo Riesgo De Déficit Hídrico Para Aguacate En Fresno, Colombia*. Actas VIII Congreso mundial de la palta. Lima, Perú. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/wac8/section\\_04/martinezfe2015.pdf](http://www.avocadosource.com/wac8/section_04/martinezfe2015.pdf)

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2014). Estado actual y perspectivas de la cadena del aguacate en Colombia. Recuperado de [https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/cadena\\_de\\_aguacate.pdf](https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/cadena_de_aguacate.pdf)
- Morales, N y Gamboa, T. (2010). El aguacate como eje de una estrategia de desarrollo regional en Nayarit. *Revista de Geografía Agrícola*, (44), 41-55. [Fecha de Consulta 12 de Enero de 2020]. ISSN: 0186-4394. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=757/75721681004>
- Ordúz-Rodríguez, J y Fischer, G. (2007). Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte llanero de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 255-263. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652007000200007&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652007000200007&lng=en&tlng=es).
- Potters, G., Pasternak, T., Guisez, Y., Palme, K., y Jansen, M. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble?. *Trends in Plant Science*, 12(3), 99-105. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.01.004>
- Pizarro, F. (1993). *Riego localizado de alta frecuencia: Goteo, microaspersión, exudación*. Madrid, España. Edición Mundi prensa.
- Ramírez, A y Pérez, C. (2018). Competitividad en las organizaciones de productores de aguacate en Sucre, Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 15(81), 80-92. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.11144/javeriana.cdr15-81.copa>
- Rodríguez, M. (2003). *Cultivo del aguacate. Guía técnica N° 20*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/99334892/2003-CENTA-Guia-Tecnica-del-Cultivo-de-Aguacate>
- Rohwer, J. (2000). Toward a Phylogenetic Classification of the Lauraceae: Evidence from matk Sequences. *Systematic Botany*, 25(1), 60-71. Recuperado de <https://doi.org/10.2307/2666673>
- Schwartz, M., Maldonado, Y., Luchsinger, L., Lizana, L., y Kern, W. (2018). Competitive Peruvian and Chilean avocado export profile. *Acta Horticulturae*, (1194), 1079-1084. Recuperado de <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1194.154>
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., y Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego Y Drenaje*. Roma, Italia. Recuperado el 30 de Enero de 2020, desde <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>.



- Shao, H., Chu, L., Cheruth, A., y Zhao, C. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*. 331, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- Sánchez, J. (1999). Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5, 7-18. Recuperado el 22 de Enero de 2020, desde [http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4\\_p007.pdf](http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p007.pdf)
- Salgado, E. (1990). *Manejo del riego. Curso Internacional, Producción, Postcosecha y Comercialización de Paltas*. Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile.
- Tapia, L., Larios, A., Salazar, S., y Anguiano, J. (2007). *Efecto del clima y manejo de agua en el rendimiento y componentes del fruto de aguacate en Michoacán*. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. International Avocado Society. Viña del Mar, Chile. Recuperado de <http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/4a-188.pdf>
- Vergara, A., Mercado, T., Jarma, A., y Gatti, K. (2017). Requerimiento hídrico de *Gmelina arborea* en etapa de vivero bajo condiciones controladas. *Floresta e Ambiente*, 24, e20150129. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Whiley, A. Chapman, K. y Saranah, J. (1988). Water loss by floral structures of avocado. (*Persea americana* cv. Fuerte) during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research*, 39, 457-467. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.012915>
- Yabrudy, J. (2012). *El aguacate en colombia: estudio de caso de los montes de maría, en el caribe colombiano*. Documento De Trabajo Sobre Economía Regional, Banco De La República. Cartagena, Colombia. Recuperado el 3 de febrero de 2020, desde <http://www.banrep.gov.co/es/node/27797>

**CAPÍTULO II. EFECTO DE CUATRO DOSIS DE AGUA SOBRE LAS  
VARIABLES DE CRECIMIENTO Y ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE  
CULTIVO ( $K_c$ ) EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS  
PARA AGUACATE (*Persea americana* Miller.) VARIEDAD AMERICANA.**

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de cuatro dosis de agua (2,3; 3,6; 5,4 y 6,8 mm d<sup>-1</sup>) sobre las variables de crecimiento, acumulación y distribución de biomasa en etapa de vivero bajo condiciones controladas para aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana. El estudio se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos, bajo sistema de riego por goteo y 4 repeticiones, para un total de 16 unidades experimentales. Se evaluó la altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro basal de tallo (DBT), área foliar (AF), materia seca de hoja (MSH), materia seca de tallo (MST) y materia seca de raíz (MSR) durante un periodo de 90 días después del trasplante. En base a los resultados obtenidos se recomienda para las condiciones bajo las cuales se desarrolló la investigación, en los Montes de María, el K<sub>c</sub> de 0,8 acorde con el uso y manejo eficiente del agua. Las variables AF, DBT, MSR, MST, MSH, tuvieron su mayor desarrollo con la dosis de agua 3,6 mm d<sup>-1</sup>, mientras que las otras variables AP y NH tuvieron su máximo valor con la dosis de agua 5,4 mm d<sup>-1</sup>.

**Palabras Claves:** coeficiente del cultivo, acumulación de biomasa, crecimiento, altura de planta, área foliar, diámetro basal, número de hojas, materia seca.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of four doses of water (2,3; 3,6; 5,4 and 6,8 mm d<sup>-1</sup>) on the variables of growth, accumulation and distribution of biomass in the nursery stage under controlled conditions for avocado (*Persea American* Miller) American variety. The study was conducted under a completely randomized design (DCA) with 4 treatments, under drip irrigation system and 4 repetitions, for a total of 16 experimental units. Plant height (AP), number of leaves (NH), Basal stem diameter (DBT), leaf area (AF), dry leaf matter (MSH), stem (MST) and root (MSR) during a period were evaluated 90 days after transplant. Based on the results obtained, it is recommended for the conditions under which the research was carried out in Montes de María, the 0.8 K<sub>c</sub> according to the efficient use and management of water. The variables AF, DBT, MSR, MST, MSH, had their greatest development with the water dose 3,6 mm d<sup>-1</sup>, while the other variables AP and NH had their maximum value with the water dose 5,4 mm d<sup>-1</sup>.

**Keywords:** crop coefficient, biomass accumulation, growth, plant height, leaf area, basal diameter, number of leaves, dry matter.

## 2.1 INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate requiere una extensión considerable e inversión económica media para su instalación y mantenimiento, razón por la cual dicho cultivo ha sido implementado por un número menor de productores agrícolas en comparación con los agricultores que se dedican a la explotación de cultivos de ciclo corto. Sin embargo, el desconocimiento sobre las nuevas tecnologías en el cultivo ha provocado que los rendimientos sean menores comparados con otros países dedicados a la explotación de esta fruta (Huraca, Viteri, Sotomayor, Viera, y Jiménez, 2016).

Por otra parte existe una fuerte demanda de plantas de excelente calidad y en una época oportuna para su establecimiento. Es por ello que es indispensable lograr un acercamiento a las mejores condiciones de desarrollo de esta especie durante su periodo de propagación. Dentro de los factores de crecimiento que deben ser optimizados en todo vegetal se encuentra el uso-consumo de agua, lo que desde el punto de vista del manejo involucra satisfacer la demanda evapotranspirativa ambiental, mediante la práctica de riego. Este último factor incluye aspectos como la cantidad de agua a aplicar, la frecuencia de riego y el manejo de la relación agua/aire, dependiente del sustrato en que se desarrolla la planta (Cosió, 1997).

En este sentido, la aplicación del riego de manera correcta es fundamental en la producción de plántulas de cualquier especie comercial, puesto que la falta o exceso de agua puede comprometer el crecimiento y desarrollo de las mismas y su productividad en campo. Un riego excesivo o deficitario en las plantas puede tener consecuencias negativas. El exceso de agua puede ocasionar lixiviación de los nutrientes, lo cual afecta el ambiente y aumenta los costos de producción, mientras que el déficit hídrico puede resultar en un bajo crecimiento y muerte de las plántulas (Barbosa, 2013). Surge entonces la necesidad de establecer con claridad la cantidad de agua necesaria a nivel de vivero, con la cual se puedan obtener plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana mejor desarrolladas, antes de ser llevadas a sitio definitivo.

## 2.2 METODOLOGÍA

**2.2.1 Localización del proyecto.** El trabajo experimental se llevó a cabo bajo condiciones controladas a nivel de vivero, donde se controló precipitación mediante cubierta plástica, radiación solar a través del uso de polisombra al 65% y humedad en sustrato aplicando las dosis exactas indicadas por cada tratamiento. El ensayo se llevó a cabo en la vereda El Suan del municipio de Toluviejo, en la subregión Montes de María del Departamento de Sucre (Colombia), ubicado a 09° 27' 07" latitud (N) y 75° 26' 30" longitud (W), con una elevación de 88 msnm. El área donde se desarrolló la investigación presenta una precipitación media anual de 1159 mm, temperatura promedio de 27.3 °C, los valores anuales del brillo solar son de 5.9 horas / día y una humedad relativa del 80% (Weather Spark).

**2.2.2 Establecimiento de la investigación.** El ensayo se mantuvo en condiciones controladas, con cubierta plástica transparente para evitar influencia de la precipitación y así medir solamente el efecto del agua aplicada en los tratamientos. Cada tratamiento tuvo instalado un tensiómetro con el que se controló y midió la variación de la humedad del suelo contenido en las bolsas.

En el ensayo se trabajó con plantas de aguacate criollo o antillano (*Persea americana* Miller) variedad americana, establecidas en bolsas de polietileno de 18cm de diámetro por 35 cm de longitud, calibre 3, en un sustrato 1:1:1 formado por una mezcla de arena, cascarilla de arroz y materia orgánica respectivamente. De igual forma se tomaron muestras para el análisis químico del sustrato (Tabla 2.1), al que también se le determinó mediante el uso de tensiómetros una capacidad de campo (CC) del 24,8% de humedad (0,3 Bares) y un punto de marchitez permanente (PMP) del 18,6% (15 Bares) arrojando como resultado un índice de humedad disponible de 6,2%. Al agua que se utilizó en el ensayo se le determinó también la calidad para el uso agrícola, teniendo en cuenta las propiedades químicas (Tabla 2.2); se clasificó como C1S1 (USDA, 1962). Se diseñó e instaló un sistema de riego por goteo para aplicar diariamente los tratamientos.

**Tabla 2.1** Propiedades químicas del sustrato utilizado en el ensayo.

Propiedad	Unidad	Valor	Propiedad	Unidad	Valor
<b>pH</b>	1:1, P/V	7,02	<b>Mg</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	3,1
<b>MO</b>	%	1,93	<b>Na</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	0,31
<b>C.I.C</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	24,5	<b>Cu</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,1
<b>P</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	95,8	<b>Fe</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,1
<b>S</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	13,3	<b>Zn</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,2
<b>K</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	0,41	<b>Mn</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	7,2
<b>Ca</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	20,7	<b>B</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,33

MO: materia orgánica; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico.

**Tabla 2.2** Propiedades químicas del agua utilizada en el ensayo.

Propiedad	Unidad	Valor
pH	-	6,36
CE	dS.m <sup>-1</sup>	0,58
Ca	Cmol.L <sup>-1</sup>	4,10
Mg	Cmol.L <sup>-1</sup>	1,21
Na	Cmol.L <sup>-1</sup>	1,08
K	Cmol.L <sup>-1</sup>	0,16
Cl	Cmol.L <sup>-1</sup>	0,30
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cmol.L <sup>-1</sup>	2,68
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cmol.L <sup>-1</sup>	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cmol.L <sup>-1</sup>	3,57

CE: Conductividad eléctrica.

**2.2.3 Población y muestra.** El ensayo constó de una población de 800 plantas de Aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana (criollo), de las cuales se tomó una muestra para análisis destructivo de 288 plantas útiles, sobre las que se realizaron las respectivas mediciones y análisis.

**2.2.4 Tipo de investigación.** Se realizó una investigación experimental donde se compararon cuatro dosis de agua para aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana (criollo), en etapa de vivero.

**2.2.5 Diseño experimental.** El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos, bajo sistema de riego por goteo y 4 repeticiones, para un total de 16 unidades experimentales, durante un periodo de 90 días después del trasplante. Cada unidad experimental contó con 50 plantas, distribuidas en cinco hileras separadas a 0,2 m, con una separación entre plantas también de 0,2 m, y separación entre tratamientos de 0,95m. El área total del experimento fue de 59 m<sup>2</sup>.

Los datos se tabularon en programa Microsoft Excel, versión 2016 y se graficaron con el programa Sigma Plot versión 10.0. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANAVA) y un análisis de comparación de medias de acuerdo al método estadístico de Tukey con significancia de 0,05, mediante el programa estadístico SAS versión 9.1.

**2.2.6 Cálculo de las dosis de agua.** Mediante la ecuación de uso consuntivo (UC) se estimó la dosis de agua de cada tratamiento. Este UC se deriva del producto del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) y la evapotranspiración de un cultivo de referencia bajo condiciones óptimas de humedad ( $ET_o$ ).

$$UC = K_c * ET_o \quad (mm / día)$$

**2.2.6.1 Estimación de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ).** Se empleó la ecuación Penman-Monteith modificado por la FAO para estimar la  $ET_o$ , considerado uno de los métodos más usados y confiables para hacer el cálculo de la evapotranspiración potencial (Palencia, Mercado y Combatt 2006). Para tal efecto se utilizó el software CROPWAT publicado por la FAO como manual No. 46 en la Serie Riego y Drenaje de 1992 (FAO, 1992), el cual es una herramienta útil para calcular la  $ET_o$  con el método Penman-Monteith, a partir de parámetros climáticos de la zona de estudio. En este sentido fue necesario solicitar el registro histórico de temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa media, velocidad del viento, horas de insolación y datos de radiación, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2016) (Tabla 2.3). Luego de correr los datos en el software, se obtuvieron los valores de  $ET_o$  de cada uno de los meses del año, del cual se seleccionó el mes de mayor  $ET_o$ , con el objetivo de tener la capacidad de regar en el mes más crítico (Tabla 2.4).

Mediante la siguiente ecuación se determina la evapotranspiración de la superficie hipotética de referencia ( $ET_o$ ), de acuerdo a Penman-Monteith (FAO, 2006).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

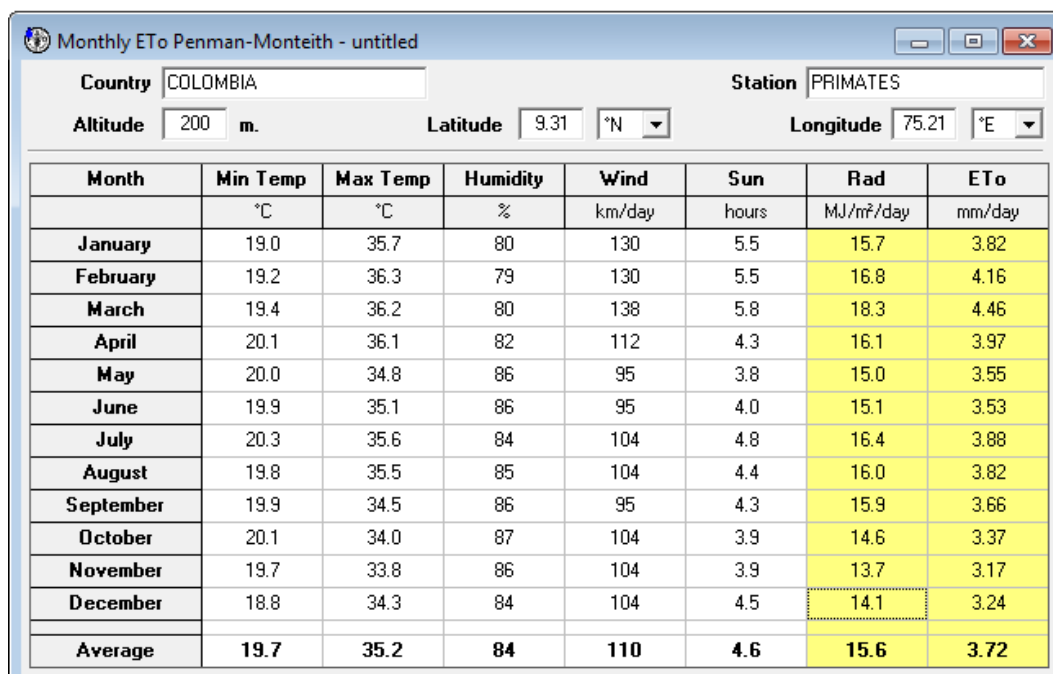
- $ET_o$ : Evapotranspiración de referencia ( $mm.d^{-1}$ )
- $R_n$ : Radiación neta en la superficie del cultivo ( $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ )
- $G$ : Flujo del calor de suelo ( $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ )
- $T$ : Temperatura media del aire a 2 m de altura ( $^{\circ}C$ )
- $U_2$ : Velocidad del viento a 2 m de altura ( $m.s^{-1}$ )
- $e_s$ : Presión de vapor de saturación (kPa)
- $e_a$ : Presión real de vapor (kPa)
- $(e_s - e_a)$ : Déficit de presión de vapor (kPa)
- $\Delta$ : Pendiente de la curva de presión de vapor ( $kPa.^{\circ}C^{-1}$ )
- $\gamma$ : constante psicrométrica ( $kPa.^{\circ}C^{-1}$ )

**Tabla 2.3** Registros históricos de las medias mensuales de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa (%), brillo solar (hrs) y velocidad del viento (km/d), en un rango de años de 1985 a 2016. Estación meteorológica Primates del municipio de Colosó.

MESES	TEMPERATURAS MÁXIMAS (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	HUMEDADES RELATIVAS (%)	BRILLO SOLAR (h)	VELOCIDAD DEL VIENTO (km/d)
ENE	35,7	19	80	164,2	129,6
FEB	36,3	19,2	79	165,4	129,6
MAR	36,2	19,4	80	175,2	138,24
ABR	36,1	20,1	82	128,8	112,32
MAY	34,8	20	86	113,6	95,04
JUN	35,1	19,9	86	120,1	95,04
JUL	35,6	20,3	84	145,6	103,68
AGO	35,5	19,8	85	131,9	103,68
SEP	34,5	19,9	86	129,3	95,04
OCT	34	20,1	87	116,6	103,68
NOV	33,8	19,7	86	118	103,68
DIC	34,3	18,8	84	136,4	103,68

Fuente: IDEAM (2016)

**Tabla 2.4** Salida del Software Cropwat 8.0.



Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	19.0	35.7	80	130	5.5	15.7	3.82
February	19.2	36.3	79	130	5.5	16.8	4.16
March	19.4	36.2	80	138	5.8	18.3	4.46
April	20.1	36.1	82	112	4.3	16.1	3.97
May	20.0	34.8	86	95	3.8	15.0	3.55
June	19.9	35.1	86	95	4.0	15.1	3.53
July	20.3	35.6	84	104	4.8	16.4	3.88
August	19.8	35.5	85	104	4.4	16.0	3.82
September	19.9	34.5	86	95	4.3	15.9	3.66
October	20.1	34.0	87	104	3.9	14.6	3.37
November	19.7	33.8	86	104	3.9	13.7	3.17
December	18.8	34.3	84	104	4.5	14.1	3.24
Average	19.7	35.2	84	110	4.6	15.6	3.72

Fuente: IDEAM (2016)



Para el cálculo de las dosis de agua aplicadas en los tratamientos, se utilizó la máxima evapotranspiración presentada en el lugar de estudio, en este caso  $ET_o$ : 4,5 mm d<sup>-1</sup> (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5** Tratamientos estimados a partir de la  $ET_o$ .

Tratamientos	$K_c$	$ET_o$ (mm.d <sup>-1</sup> )	UC (mm.d <sup>-1</sup> )	UC (L.planta <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )
T1	0,50	4,5	2,3	0,092
T2	0,80	4,5	3,6	0,144
T3	1,20	4,5	5,4	0,216
T4	1,50	4,5	6,8	0,270

Fuente: Autor

## 2.2.7 Variables e indicadores.

### 2.2.7.1 Variables independientes.

- Dosis de agua aplicadas.
- Las condiciones ambientales de la zona de estudio.

### 2.2.7.2 Variables dependientes.

**2.2.7.2.1 Determinación de las variables de crecimiento.** Para los análisis de cada tratamiento se tomaron 12 plantas, 3 por cada unidad experimental, para un total de 48 plantas por muestreo cada 15 días durante 3 meses, a las cuales se les hicieron las mediciones de las variables de crecimiento. Para acumulación de biomasa se obtuvo el peso seco de hojas, tallos y raíz de tres plantas por repetición, mediante la deshidratación de las muestras en estufa de secado por 72 horas a 65°C.

**2.2.7.2.2 Variables de crecimiento.** Las plántulas de aguacate se trasplantaron desde el semillero a las bolsas a los 23 días después de la siembra. Durante la primera semana se aplicó riego de manera uniforme a todos los tratamientos, a partir de la segunda semana se inició la aplicación de los tratamientos.

Las variables de crecimiento evaluadas fueron:

- **Altura de planta (AP).** Se midió mediante un flexómetro desde la base del tallo hasta el ápice de la planta.
- **Número de hojas (NH).** Se cuantificó el número de hojas emitidas por cada planta.
- **Diámetro basal de tallo (DBT).** Se midió con un vernier el diámetro de la base del tallo.

- **Área foliar (AF):** Se utilizó el método gravimétrico con la relación peso: área, para ello se tomó el peso de 3 bocados, cortados con un sacabocado de área conocida de tres hojas por plantas por unidad experimental.

**2.2.7.2.3 Variables de acumulación y distribución de biomasa.** Se realizaron seis muestreos destructivos, a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días después de iniciado la aplicación de los tratamientos.

- **Biomasa seca (BS).** Para determinar la biomasa seca se procedió a secar la biomasa muestreada en estufa por 72 horas a 70°C, determinándose así la masa seca de raíz (MSR), masa seca de hoja (MSH), masa seca de tallo (MST) y masa seca total (MSTL).

## 2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**2.3.1 Altura de planta (AP).** La altura de las plantas bajo las diversas dosis de agua mostró una tendencia a incrementarse hasta los 60 DDT, a partir del cual tendieron a decrecer las plantas bajo las dosis de 2,3 y 6,8 mm d<sup>-1</sup>, siendo esta respuesta explicada por un modelo de regresión cuadrática ( $R^2= 89,44-95,95\%$ ) (Figura 2.1 a y tabla 2.6). Por otra parte, el análisis de varianza reporta que la AP respondió ( $p<0,01$ ) a las dosis de agua aplicada, entre los 15 y 90 DDT (Tabla 2.7). En este sentido los anteriores resultados coinciden en parte con lo encontrado por Cosío (1997), quien obtuvo una mayor altura en plantas de aguacate, aplicando láminas de 4,5 y 5,13 mm d<sup>-1</sup>, asociando dichos resultados a una mayor actividad o funcionalidad radical de la planta, sostiene además, que existe un efecto directo de la tasa de riego sobre el crecimiento de las plantas, el cual muestra mayor respuesta con tasas de riego correspondientes a 180 – 200 % de la evaporación de bandeja (Eb). De igual forma Collao (1998), encontró una mayor respuesta en la parte aérea de plantas de aguacate, utilizando tasas de riego de 2,5 y 3,5 Eb.

**Tabla 2.6** Modelos de regresión de los parámetros de crecimiento altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal de tallo (DBT) y número de hojas (NH) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, bajo las dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT).

VARIABLE	DOSIS DE AGUA (mm.d <sup>-1</sup> )	MODELO DE REGRESIÓN	R <sup>2</sup>
AP	2,3	$y=19,0983+1,4344^{**}x-0,0108^{**}x^2$	0,9290
	3,6	$y=32,5810+0,7491^{**}x-0,0035^{**}x^2$	0,9595
	5,4	$y=25,1387+1,2031^{**}x-0,0067^{**}x^2$	0,9453
	6,8	$y=31,8558+0,8864^{**}x-0,0057^{**}x^2$	0,8944
AF	2,3	$y=2129,4051+43,2021^{**}x$	0,8230
	3,6	$y=518,1216+138,0574^{**}x-0,6982^{**}x^2$	0,8002
	5,4	$y=178,3503+162,7469^{**}x-0,9569^{**}x^2$	0,9044
	6,8	$y=641,2197+123,1288^{**}x-0,7235^{**}x^2$	0,8513
DBT	2,3	$y=5,0326+0,0940^{**}x-0,0006^{**}x^2$	0,8626
	3,6	$y=6,6331+0,0304^{**}x$	0,8192
	5,4	$y=5,3782+0,1105^{**}x-0,0008^{**}x^2$	0,8473
	6,8	$y=6,4776+0,0296^{**}x$	0,7854
NH	2,3	$y=6,2583+0,2670^{**}x-0,0014^{**}x^2$	0,9240
	3,6	$y=10,3222+0,1211^{**}x$	0,9060
	5,4	$y=4,5417+0,4239^{**}x-0,0025^{**}x^2$	0,9637
	6,8	$y=6,9417+0,3316^{**}x-0,0023^{**}x^2$	0,7668

\*\* : Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

**Tabla 2.7** Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de las variables de crecimiento en etapa de vivero (15-90 DDT): altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal del tallo (DBT) y número de hojas (NH) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de agua.

Variable	Fuente	gl	Cuadrados medios					
			15	30	45	60	75	90
AP	Dosis de agua	3	43,24**	64,24**	71,05**	270,53**	183,35**	135,50**
	Error	12	2,59	1,03	1,15	0,82	2,01	2,89
	CV (%)	--	3,77	1,98	1,81	1,36	2,03	2,35
AF	Dosis de agua	3	141708,54	12517,70	5136173,94**	5530465,93**	1747272,71*	3009061,76**
	Error	12	40702,67	38841,83	597677,53	211474,17	299874,35	290147,76
	CV (%)	--	7,59	5,77	16,18	7,41	8,69	8,45
DBT	Dosis de agua	3	0,67*	0,02	0,79**	0,60**	0,24**	0,22*
	Error	12	0,15	0,08	0,06	0,06	0,03	0,06
	CV (%)	--	5,79	3,76	2,94	2,94	1,97	2,45
NH	Dosis de agua	3	14,75**	3,42*	3,17*	19,39**	23,73**	8,73**
	Error	12	3,00	0,79	0,62	0,48	1,10	1,31
	CV (%)	--	4,70	5,98	4,72	3,73	5,48	5,60

gl: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; \*\*: Diferencias significativas al 1%; \*: Diferencias significativas al 5%.

La prueba de Tukey arrojó que la AP mostró los mayores valores con la dosis 5,4 mm d<sup>-1</sup>, registrando un máximo valor de 80,26 cm al final del ensayo. Los menores valores de AP se presentaron con la dosis de riego más baja y más alta (Tabla 2.8).

**Tabla 2.8** Prueba de comparaciones de medias para la variable altura de plantas (AP) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después de trasplante (DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Altura de plantas (cm)						
Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	38,08 B	45,55 B	52,95 B	57,6 C	62,97 C	66,58 C
3,6	42,68 A	51,95 A	60,3 A	64,93 B	68,3 B	72,23 B
5,4	44,45 A	53,95 A	61,83 A	77,43 A	79,13 A	80,26 A
6,8	45,53 A	54,08 A	61,67 A	65,05 B	68,55 B	69,95 BC

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ).

La respuesta creciente de la altura de las plantas respecto a las dosis 2,3; 3,6 y 5,4 mm.d<sup>-1</sup> es similar a la encontrada por Ouma (2007) en estudios realizados con plantas de aguacate sometidas a diferentes frecuencias de riego y dosis de agua condicionadas a un volumen de recipiente, en este caso tanto la frecuencia de riego como el tamaño de los recipientes incrementaron la altura de la planta. Por otra parte los resultados obtenidos difieren con los reportados por Martinelli (2012), quien en estudios realizados con *Hymenaea courbaril* var, reportó mayores de altura de planta bajo la aplicación de menores láminas de riego y frecuencia de riego manejada dos veces por día. Asimismo Fox y Montague (2009) concluyeron que no siempre el incremento en las dosis de agua conlleva a una mayor altura de la planta, puesto que los excesos de humedad en el suelo se reflejan en reducción del crecimiento de la planta.

Por su parte la AP, a los 15 DDT aumentó linealmente con la dosis de agua; mientras que, entre los 60 y 90 DDT, se incrementó con la dosis de agua, hasta registrar un máximo valor con una dosis promedio de 4,76 mm d<sup>-1</sup>, desde donde comenzó a decrecer (Figura 2.2 a y Tabla 2.9). En relación al efecto de las dosis de agua sobre el crecimiento de las plantas Gardiazabal et al. (2003), evidenciaron mayor crecimiento en aquellas plantas de aguacate que eran sometidas a tratamientos de riego según el 110% y 130% de ETc. De igual manera Torres (2015) también encontró que al aumentar la dosis de agua o niveles de humedad en aguacate a nivel de vivero en dos tipos de sustratos, se tenía una mayor altura con diferencias significativas entre los distintos tratamientos manejados.

**Tabla 2.9** Modelos de regresión de los parámetros de crecimiento: altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal de tallo (DBT) y número de hojas (NH) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de la dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT).

Variable	DDT	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>
AP	15	$y=36,4383+1,2540^{**}x$	0,4124
	45	$y=77,1988-6,8554^{**}x+0,6876^{**}x^2$	0,6334
	60	$y=35,9666+16,2501^{*}x-1,7992^{*}x^2$	0,3553
	75	$y=27,6290+18,5168^{**}x-1,7951^{**}x^2$	0,6658
	90	$y=17,3419+25,9430^{**}x-2,8072^{**}x^2$	0,9072
AF	45	$y=-1903,2762+2887,9785^{*}x-273,6155^{*}x^2$	0,5777
	60	$y=-913,7198+3896,5977^{**}x-452,2168^{**}x^2$	0,7995
	75	$y=1697,5454+2150,0760^{**}x-219,9531^{**}x^2$	0,5041
	90	$y=-172,0381+3357,1987^{**}x-371,0787^{**}x^2$	0,7162
DBT	45	$y=4,7161+1,8385^{**}x-0,2001^{**}x^2$	0,5451
	60	$y=4,6493+1,9857^{**}x-0,2220^{**}x^2$	0,5236
	75	$y=6,4045+1,2658^{**}x-0,1367^{**}x^2$	0,6206
	90	$y=4,5738+2,2072^{**}x-0,2222^{**}x^2$	0,7355
NH	15	$y=6,3901+1,9535^{*}x-0,1999x^2$	0,2261
	30	$y=12,7312+0,4764^{**}x$	0,4866
	60	$y=10,1099+3,0494^{*}x-0,2275^{*}x^2$	0,7936
	75	$y=4,1508+7,9539^{**}x-0,8995^{**}x^2$	0,6332
	90	$y=9,9276+5,3482^{**}x-0,5893^{**}x^2$	0,5331

\*\* : Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

En este orden de ideas Toledo (1996), en su trabajo con porta injertos de aguacate cv Mexícola, encontró un crecimiento gradual de las plantas en altura y diámetro de injertación, manejando tasas de riego de 0,6 a 1,4 de la evaporación de bandeja ubicada dentro del invernadero. De igual forma Cosío (1997), sostiene que existe un efecto de la tasa de riego sobre el crecimiento de las plantas, el cual se hace más notorio con tasas de riego correspondientes a 180 y 220 % de la evaporación de bandeja. En este sentido Heiskanen (1995), señala que en la producción de plantas de aguacate es de vital importancia mantener condiciones adecuadas de hidratación y ventilación para que se pueda dar en el cultivo un crecimiento de calidad. El aguacate, por su condición de árbol perenne, tiende a consumir agua durante todo el año acorde con la curva de demanda hídrica de la zona de cultivo.

El manejo del riego en el cultivo de aguacate influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Vuthapanich, Hofman, Whiley, Klieber, y Simons, 1995). Según Moreno (2009), el agua es considerada la molécula esencial para la vida; en las plantas comprende del 80 al 95% de la masa de los tejidos en crecimiento y desempeña varias funciones únicas, en las que permite el movimiento de moléculas dentro y entre células, lo cual es requerido para el crecimiento y desarrollo de la planta.

Las propiedades polares del agua le permiten tener gran influencia en la estructura y la estabilidad de moléculas de proteínas, polisacáridos entre otras (Kirkham, 2005). De igual forma la expansión celular y la integridad físico-química de la pared celular dependen del agua; entre los procesos que son regulados por el volumen celular y la hidrodinámica están, además de los anteriormente mencionados, el crecimiento y la proliferación, la exocitosis, la endocitosis, cambios en la forma celular, la señalización de hormonas, el metabolismo, la excitabilidad, la migración celular, la obtención de nutrientes, la filtración de desechos, la necrosis y la apoptosis (Wehner, Olsen, Tinel, Saffran, y Kinne, 2003; Zonia y Munnik, 2007, citados en (Moreno, 2009).

**2.3.2 Área foliar (AF).** El área foliar bajo las dosis de agua tendió a incrementarse hasta los 60 DDT, desde donde comenzó a disminuir su tasa de desarrollo, a excepción de la dosis de 2,3 mm d<sup>-1</sup>, en la cual se mostró un desarrollo de área foliar creciente (Figura 2.1 b). El comportamiento del efecto de las dosis de agua sobre el AF se ajustó a modelos cuadráticos, a excepción de la dosis de 2,3 mm d<sup>-1</sup>, cuya respuesta fue lineal (Tabla 2.6). De acuerdo al análisis de varianza, el AF respondió ( $p=0,01-0,05$ ) a las dosis de agua a partir de los 45 DDT (Tabla 2.7). Entre los 45 y 90 días después del trasplante, el AF se ajustó a un modelo cuadrático ( $R^2=57,77-71,62\%$ ), donde este parámetro alcanzó un máximo desarrollo bajo una dosis promedio de agua de 4,91 mm d<sup>-1</sup>, desde donde comenzaron a decrecer las tasas de área foliar (Figura 2.2 b y tabla 2.9).

Las comparaciones de media de Tukey, evidencian que entre los 15 y 30 DDT no hubo diferencia entre las dosis de agua aplicadas, a partir de los 45 DDT las dosis de agua 3,6 y 5,4 mm.d<sup>-1</sup> presentaron los valores medios más altos de AF, 7669 y 7221 cm<sup>2</sup> respectivamente. Los menores valores de AF se presentaron con las dosis de agua 2,3 y 6,8 mm d<sup>-1</sup> cuyos valores medios al final del ensayo fueron 5621 y 5629 cm<sup>2</sup> respectivamente.

**Tabla 2.10** Prueba de comparaciones de medias para la variable área foliar (AF) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Tolu Viejo, Sucre.

Área foliar (cm <sup>2</sup> )						
Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	2587,5 A	3387,8 A	3497,5 B	5510,6 C	5360,6 B	5621,4 B
3,6	2924,6 A	3426,4 A	4444,3 B	7669,3 A	6877,2 A	7019,4 A
5,4	2626,8 A	3488,0 A	6216,3 A	6607,9 B	6604,2 A	7221,5 A
6,8	2486,9 A	3358,5 A	4957,8 AB	5039,1 C	6348 AB	5628,6 B

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Los resultados evidenciados en AF con la dosis más alta de agua, pueden estar asociados a una posible alteración del proceso de absorción y transporte de agua y sales minerales. Al respecto Neuman (1993) sostiene que el desarrollo foliar puede verse afectado bajo condiciones de exceso de humedad, trayendo consigo alteraciones en la toma y transporte del agua, afectando de este modo la turgencia celular, el cual es uno de los factores determinantes en la tasa de expansión celular y por consiguiente, del desarrollo del área foliar.

De igual forma un exceso de humedad genera una disminución en el contenido de aire en las áreas cercanas al sistema radicular; según Letey y Stolzy (1964), citados en Ferreyra y Sellés (2007), la velocidad de difusión del oxígeno a través del agua es diez mil veces más lenta que en el aire. Para Schaffer, Andersen, y Ploetz (1992) uno de los problemas que más afecta la difusión del oxígeno en la zona de raíces, es el exceso de humedad, ya que disminuye el contenido de aire en el suelo, reduciendo el crecimiento de la planta, y afectando su desarrollo en lo referente a índice de área foliar (IAF). De igual forma se puede generar una afectación en el crecimiento de los brotes, inhibición de la expansión de las hojas, moderada a severa y abscisión de las mismas. Periodos cortos con deficiencia de oxígeno, generalmente pueden verse reflejados en una reducción del crecimiento y/o muerte del sistema radicular, para luego afectar la parte aérea (Ferreyra y Sellés, 2007). En este orden de ideas Cairo (1995), en ensayo con especies forestales concluyó que el área foliar era fuertemente influenciada por la disponibilidad de agua en el suelo. Esto explicaría en parte por qué la variable área foliar en este ensayo, mostró una tendencia a incrementarse y se desarrolló hasta alcanzar un máximo, bajo una dosis promedio de riego de  $4,91 \text{ mm d}^{-1}$ .

Por otra parte Schaffer, Davies y Crane (2006) evidenciaron en plantas de aguacate que crecían en suelos con deficientes niveles de oxígeno, que la concentración de elementos minerales en hojas (N, P, K, Ca, Mn y Co) estaban por debajo del nivel óptimo, en comparación con plantas que crecían en mejores condiciones de oxigenación.

Algunos trabajos realizados por Faber et al. (1995) en suelos molisol antiguos, de textura franco arenosa gruesa, mostraron los máximos rendimientos en aguacate, cuando se aplicaron dosis de agua equivalente al 70% de la  $ET_0$  ( $K_c$ : 0,7), mientras que en los tratamientos donde se aplicaron cantidades de agua equivalentes al 110% de la  $ET_0$  ( $K_c$ : 1,1), los rendimientos disminuyeron aproximadamente en un 50%. Si bien en este estudio que se referencia los resultados se están comparando respecto a rendimiento, también es claro que el rendimiento está asociado a un buen desarrollo foliar, donde se da todo el proceso fotosintético. Sanclemente, Schaffer, Gil, Davie y Crane (2013) encontraron que una disminución del área foliar en aguacate generó una reducción de la tasa fotosintética y como tal una menor traslocación de carbohidratos.

**2.3.3 Diámetro basal del tallo (DBT).** El análisis de varianza reportó que el DBT respondió ( $p=0,01-0,05$ ) a los efectos de la dosis de agua durante toda la etapa de vivero, a excepción de los 30 DDT (Tabla 2.7). Al respecto Torres (2015), encontró diferencias estadísticas significativas en los tratamientos con mayor nivel de humedad.



De igual forma Ouma (2007), en sus estudios con plántulas de aguacate sembradas en diferentes tamaños de bolsa y sometidas a diferentes frecuencias de riego, encontró que la frecuencia diaria incrementaba el diámetro del tallo.

El DBT de las plantas bajo las dosis de agua 3,6 y 6,8 mm d<sup>-1</sup> mostró un crecimiento lineal hasta los 90 DDT, mientras que en las plantas bajo las dosis de 2,3 y 5,4 mm d<sup>-1</sup>, el DBT se incrementó hasta los 60 DDT, desde donde comenzó a disminuir, ajustándose a un modelo cuadrático (Figura 2.1 c y Tabla 2.6). El DBT se incrementó hasta alcanzar su máximo crecimiento con una dosis promedio de 4,68 mm d<sup>-1</sup>, desde donde comenzó a decrecer, ajustándose a un modelo de regresión cuadrática (Figura 2.2 c y Tabla 2.9). Este comportamiento es similar al de la mayoría de las especies que luego sobrepasar los niveles óptimos de humedad, incurren en excesos, sufriendo afectaciones a nivel radical, que se reflejan en la parte aérea de la planta (Tang y Kozlowsky, 1982).

Las comparaciones de media de Tukey mostraron que los mayores valores de DBT se obtuvieron con las dosis de agua 3,6 y 5,4 mm d<sup>-1</sup>, los cuales correspondieron a 9,37 y 9,34 mm respectivamente, registrados al final del ensayo. Por su parte los efectos de la mayor y menor dosis de agua a lo largo de la fase de vivero fueron estadísticamente iguales (Tabla 2.11). Estudios realizados por Fernández, Perry, Flore, y McLean, (1997), con plantas de manzano 'Jonnee', mostraron una reducción en el aumento del área transversal del tronco, 5 cm por encima del injerto, en plantas sometidas a anegamiento durante 32 días, comparado con plantas sometidas a la misma condición en periodos más cortos de tiempo. Gutiérrez, Gómez y Rodríguez (2010), en estudios con plántulas de cacao a nivel de vivero, observaron que las plantas que crecían en pequeños recipientes experimentaban una restricción del crecimiento a nivel de raíz, que se reflejaba en una reducción del dosel, tal como lo afirman también Hanson, Dixon, y Dickson (1987) bajo estas mismas condiciones.

**Tabla 2.11** Prueba de comparaciones de medias para la variable diámetro basal (DBT) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluviéjo, Sucre.

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren

Dosis de agua (mm d <sup>-1</sup> )	Diámetro basal (mm)					
	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	6,13 B	7,62 A	8,03 B	8,20 B	8,71 BC	8,87 B
3,6	7,08 A	7,74 A	7,88 B	8,47 B	9,08 AB	9,37 A
5,4	6,88 AB	7,76 A	8,83 A	9,04 A	9,14 A	9,34 A
6,8	6,70 AB	7,73 A	7,93 B	8,22 B	8,66 C	9,30 AB

estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey (p< 0.05).

**2.3.4 Número de hojas (NH).** El número de hojas tuvo un comportamiento cuadrático ( $R^2=76,68-96,37\%$ ), a excepción de la dosis de agua  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ , ajustada a un modelo lineal ( $R^2=90,60\%$ ) (Tabla 2.6). En la figura 2.1 d, se puede apreciar que el máximo NH de las dosis  $2,3$  y  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$  se desarrolló después de los 60 DDT, mientras que para la dosis de  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$  este valor se registró entre los 60 y 90 DDT. Por su parte, el análisis de varianza indica que el NH fue influenciado ( $p=0,01-0,05$ ) por los efectos de la dosis de agua durante toda la etapa de vivero (Tabla 2.7).

La tendencia lineal de la dosis de  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$  a lo largo del ensayo, evidencia la relación entre lo que sucede a nivel de raíz y la parte aérea, tal y como lo expresan Van Noordwijk y De Willigen (1984), donde dan cuenta la interdependencia que existe entre el sistema radical y la parte aérea de la planta, la cual es necesaria para mantener el equilibrio funcional entre las dos partes.

A los 30 DDT, el NH se incrementó linealmente; por su parte, para los 15, 60, 75 y 90 DDT, este parámetro registró su máxima respuesta con una dosis media de agua de  $4,62 \text{ mm d}^{-1}$ , a partir de la cual comenzó a decrecer la tasa de emisión de hojas, ajustándose a modelos cuadráticos (Figura 2.2 d) y (Tabla 2.9). En este sentido es claro el aumento en el NH hasta un máximo, a partir del cual se evidencian restricciones que reducen la producción general de estas. Estudios en aguacate realizados por Schaffer y Whiley (2002), mostraron resultados similares, en los que luego de alcanzar un límite en la capacidad de absorción, el exceso de agua inhibió el crecimiento de raíz, brotes y expansión de hojas.

Las comparaciones de media de Tukey (Tabla 2.12) mostraron que con la dosis  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$  se presentó el mayor valor medio de NH (22,3), el cual al final del experimento fue estadísticamente igual al NH presentado bajo la dosis  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$  (21). Por su parte la dosis  $2,3 \text{ mm d}^{-1}$  fue la que arrojó los menores valores de NH a lo largo del ensayo, mostrando al final de la investigación los mismos efectos que la dosis  $6,8 \text{ mm d}^{-1}$ . En este orden de ideas Ouma (2006) reportó en frutal (*Citrus limón*), un incremento en el número de hojas, altura de la planta, altura del dosel, diámetro de tallo, peso seco de raíces y tallos, con el aumento del volumen de los contenedores, y efectos contrarios para pequeños volúmenes. Se cree que el incremento en la biomasa de las raíces y el decrecimiento en el espacio de enraizamiento generan competencia por el oxígeno disponible.

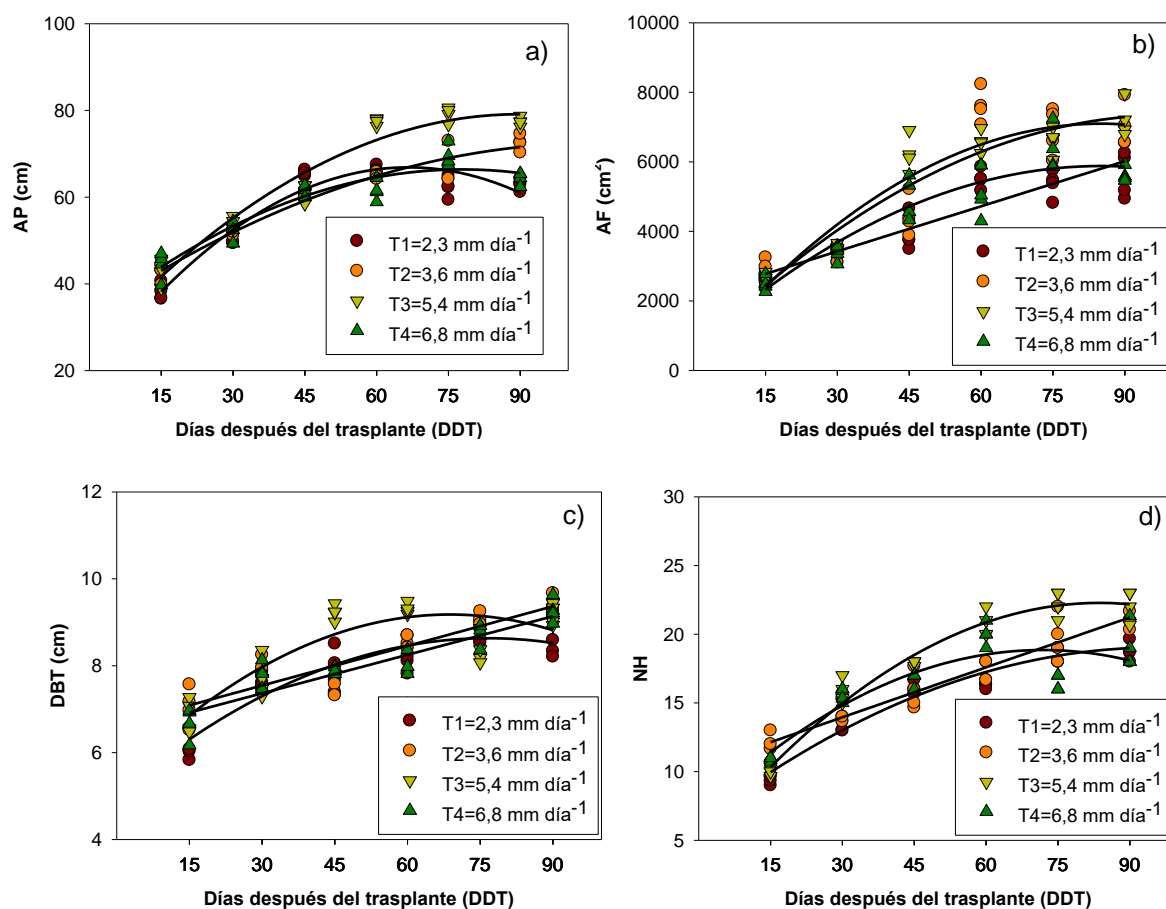
Para el caso específico de la presente investigación los resultados mostraron que con una dosis de agua aplicada por encima de la dosis promedio  $4,62 \text{ mm d}^{-1}$ , se presentó disminución en las tasas de producción de hojas, debido a la saturación parcial del sustrato que excedió su capacidad de almacenamiento, reduciendo considerablemente el volumen de vacíos, y dejando bajos los niveles de oxígeno disponible, aprovechables por la planta.

**Tabla 2.12** Prueba de comparaciones de medias para la variable número de hojas (NH) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

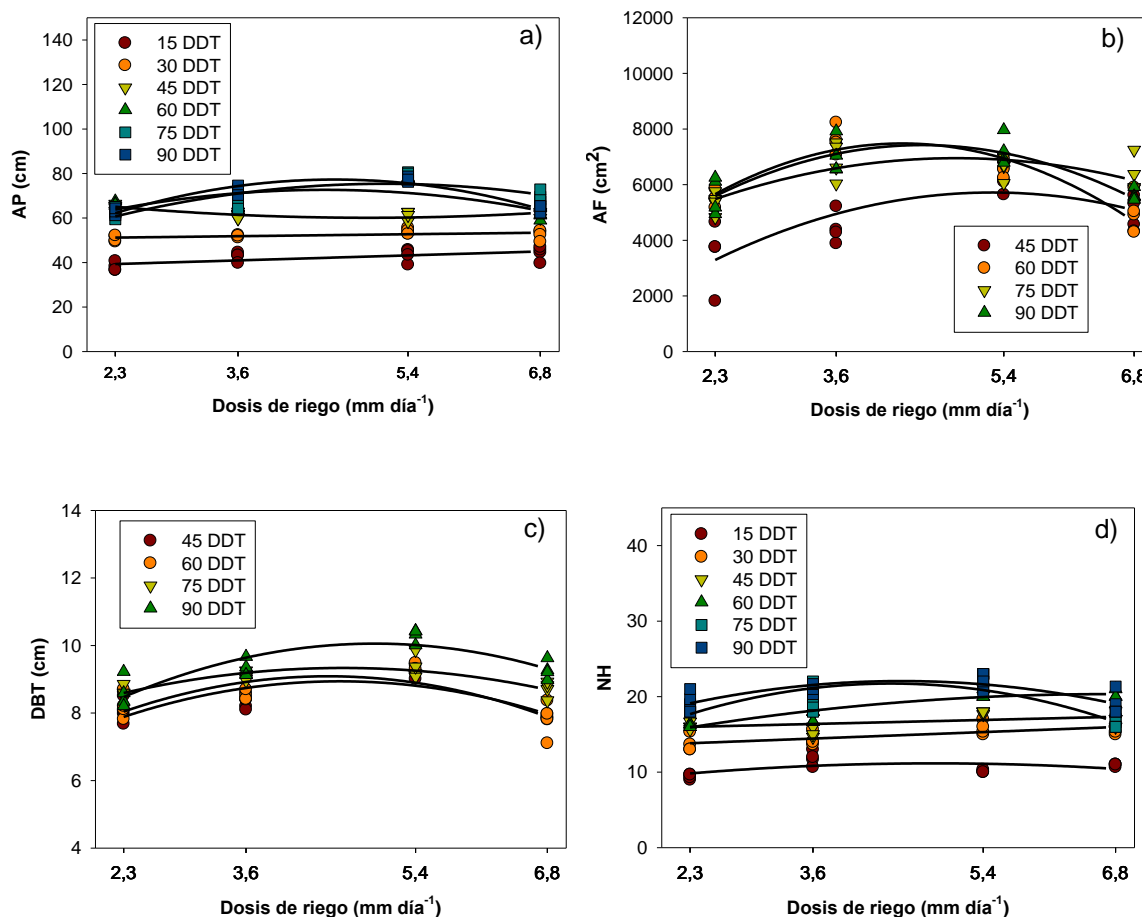
Dosis de agua (mm d <sup>-1</sup> )	Número de hojas (unidad)					
	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	9,5 C	13,75 B	16,25 B	16,00 C	18,25 BC	19,50 B
3,6	12,0 A	14,50 AB	16,00 B	17,50 B	19,75 B	21,00 AB
5,4	10,0 BC	15,75 A	18,00 A	20,75 A	22,25 A	22,25 A
6,8	11,0 AB	15,50 AB	16,75 AB	20,00 A	16,50 C	19,00 B

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Figura 2.1** Respuesta de los parámetros de crecimiento en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana, bajo las dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT): a). Altura de planta (AP), b). Área foliar (AF), c). Diámetro basal de tallo (DBT) y d). Número de hojas (NH).



**Figura 2.2** Respuesta de los parámetros de crecimiento en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana en función de la dosis de agua en la etapa de vivero (15-90 DDT): a). Altura de planta (AP), b). Área foliar (AF), c). Diámetro basal de tallo (DBT) y d). Número de hojas (NH).



**2.3.5 Masa seca de raíz (MSR).** La masa seca de raíz bajo las diversas dosis de agua registró un desarrolló lineal durante la etapa de vivero (Figura 2.3 a) y (tabla 2.13). Así mismo, el análisis de varianza reportó que hubo diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) entre las dosis de agua para este mismo periodo (Tabla 2.14). Estos resultados difieren de los reportados por Cosío (1997) quien evaluando los requerimientos hídricos de aguacate no encontró diferencias estadísticas para la variable masa seca de raíz con la aplicación de los diferentes tratamientos.

De igual forma, la MSR durante la etapa de vivero aumentó con el riego hasta alcanzar un máximo bajo una dosis promedio de 4,32 mm d<sup>-1</sup>, desde donde disminuyó la tasa de crecimiento de esta variable, ajustándose a un modelo cuadrático (Figura 2.4 a y Tabla 2.15), convirtiéndose este punto de inflexión, en el punto crítico donde la raíz detiene su crecimiento, quizás debido a la disminución en los procesos de asimilación

primaria, causando estrés a la planta y reduciendo su crecimiento a nivel general (Taiz y Zeiger, 1998).

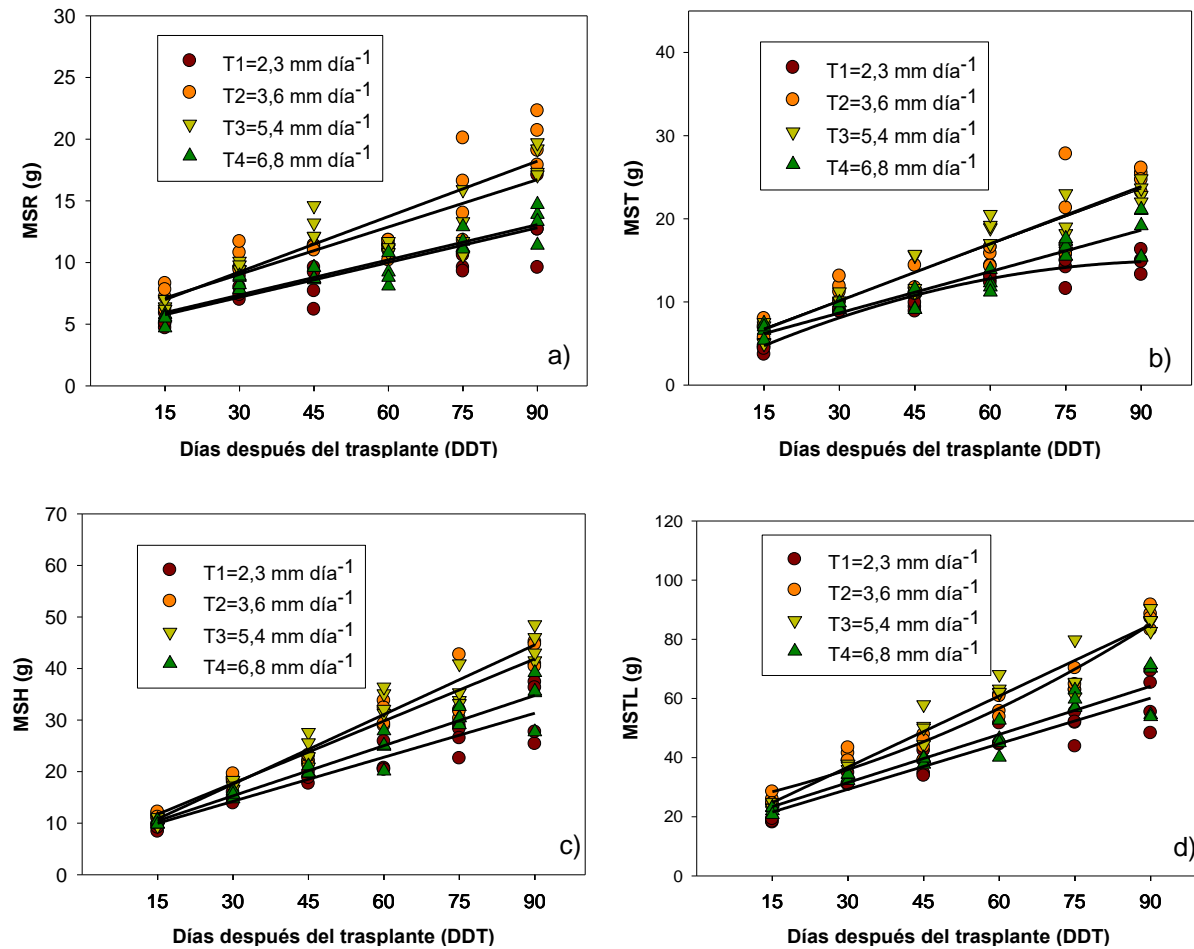
Por otra parte, debido a que el aguacate posee un sistema radicular superficial y susceptible a enfermedades, lo hace más sensible a los efectos de la humedad tal como señalan Avilan, Meneses, Sucre, y Serpa (1984). Por otra parte el punto crítico donde la raíz detiene su crecimiento puede ser también un indicador del momento óptimo de trasplante para ser llevada la planta a sitio definitivo, tal como lo sostienen Morales, Alzugaray, Avaria, Díaz, Gallardo y De Lourdes (1998), al considerar el agua como elemento clave en el endurecimiento o preparación de la planta para ser llevada a terreno. En relación a esto Wencomo y Ortiz (2010), en sus estudios con *Leucaena* spp, definieron el momento óptimo de trasplante, en base a indicadores de acumulación de biomasa como masa seca de raíz, longitud de raíz, biomasa seca de la parte aérea y número de brotes foliares.

**Tabla 2.13** Modelos de regresión de la masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hoja (MSH) y masa seca total (MSTL) en la etapa de vivero (15-90 DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de agua.

Variable	Dosis de agua (mm d <sup>-1</sup> )	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>
MSR	2,3	$y=4,3633+0,0940^{**}x$	0,6970
	3,6	$y=4,7461+0,1497^{**}x$	0,7700
	5,4	$y=5,2050+0,1279^{**}x$	0,7564
	6,8	$y=4,5118+0,0951^{**}x$	0,8560
MST	2,3	$y=0,7083+0,2907^{**}x-0,0015^{**}x^2$	0,9077
	3,6	$y=3,2539+0,2292^{**}x$	0,8564
	5,4	$y=3,4833+0,2236^{**}x$	0,9039
	6,8	$y=3,6908+0,1660^{**}x$	0,8933
MSH	2,3	$y=5,6967+0,2849^{**}x$	0,8749
	3,6	$y=5,6892+0,4021^{**}x$	0,9367
	5,4	$y=4,0783+0,4501^{**}x$	0,9525
	6,8	$y=5,5783+0,3244^{**}x$	0,9344
MSTL	2,3	$y=13,8878+0,5135^{**}x$	0,8873
	3,6	$y=22,8678+0,0,3090^{*}x-0,0042^{*}x^2$	0,9550
	5,4	$y=12,7517+0,8017^{**}x$	0,9496
	6,8	$y=15,2729+0,5429^{**}x$	0,9069

\*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

**Figura 2.3** Respuesta de la biomasa en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana durante la etapa de vivero (15-90 DDT) en función de las dosis de agua: a) Masa seca de raíz (MSR); b) Masa seca de tallo (MST); c) Masa seca de hoja (MSH); y d) Masa seca total (MSTL).

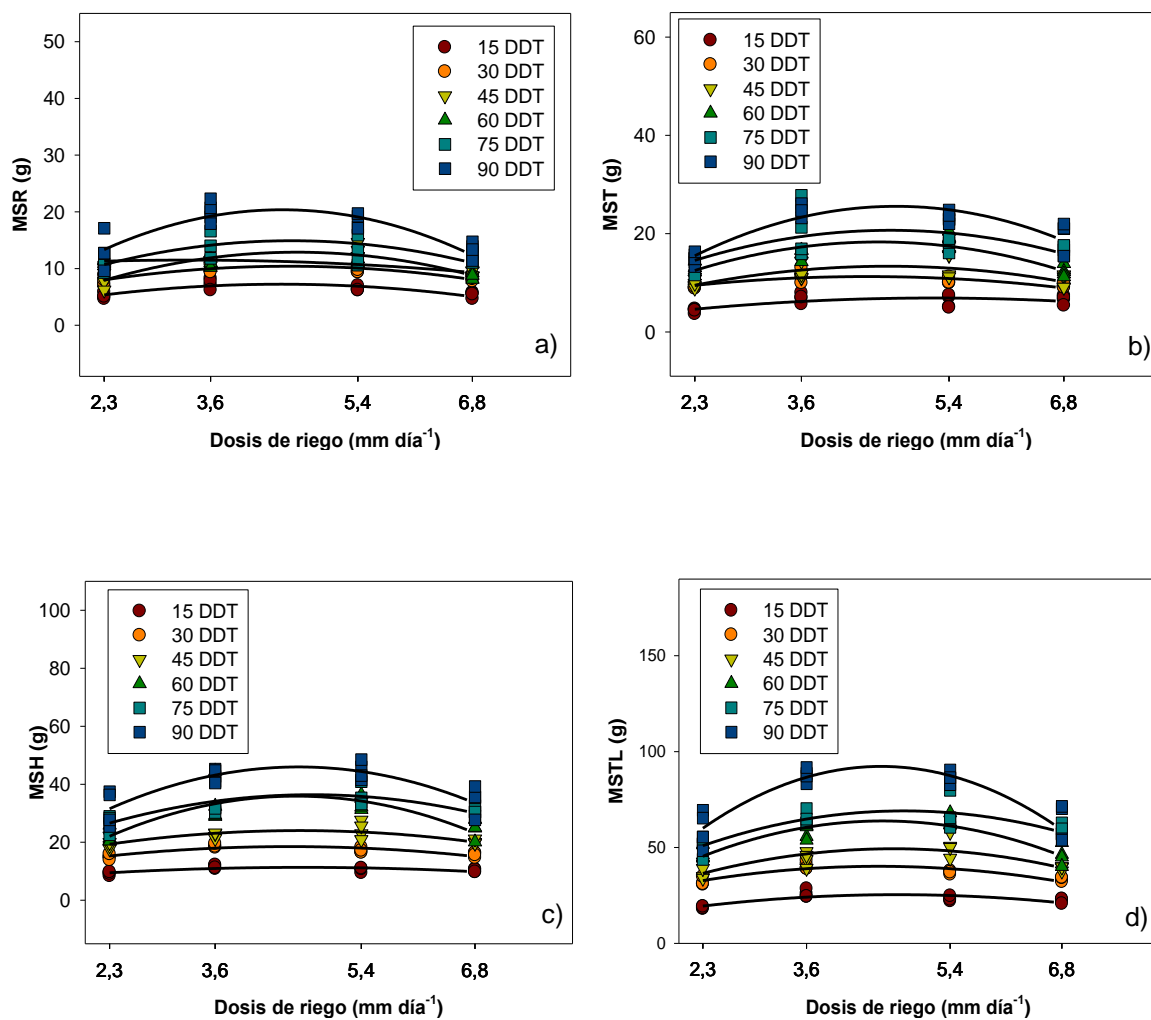


**Tabla 2.14** Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de las variables de acumulación de biomasa: masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hojas (MSH) y masa seca total (MSTL) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT).

Variable	Fuente	gl	Cuadrados medios					
			15	30	45	60	75	90
MSR	Dosis de agua	3	4,12**	6,30**	7,98**	5,75**	26,74**	44,06**
	Error	12	0,36	0,46	0,27	0,25	2,13	3,22
	CV (%)	--	9,89	7,73	5,23	4,60	10,69	10,97
MST	Dosis de agua	3	6,08**	2,97**	12,58*	23,21**	22,55**	70,69**
	Error	12	0,74	0,22	2,31	1,18	1,90	2,43
	CV (%)	--	14,22	4,82	13,03	7,45	8,02	7,42
MSH	Dosis de agua	3	3,68**	11,60**	19,42*	99,14**	79,69**	145,30**
	Error	12	0,37	0,58	3,26	4,11	4,36	16,05
	CV (%)	--	5,89	4,59	8,39	7,24	6,71	10,37
MSTL	Dosis de agua	3	34,72**	61,07**	139,94**	308,31**	227,69**	908,25**
	Error	12	1,65	2,51	15,31	15,15	28,47	51,54
	CV (%)	--	5,70	4,42	9,12	7,27	8,79	9,70

gl: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; \*\*: Diferencias significativas al 1%; \*: Diferencias significativas al 5%

**Figura 2.4** Respuesta de la biomasa durante etapa de vivero (15-90 DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de agua: a) Masa seca de raíz (MSR); b) Masa seca de tallo (MST); c) Masa seca de hoja (MSH); y d) Masa seca total (MSTL).





**Tabla 2.15** Modelos de regresión de masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hojas (MSH) y masa seca total (MSTL) de la variedad americana de aguacate (*Persea americana* Miller) en función de los días después del trasplante (DDT).

Variable	DDT	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>
MSR	15	$y = -0,7918 + 3,5992^{**}x - 0,4032^{**}x^2$	0,6334
	30	$y = 0,5850 + 4,3042^{**}x - 0,4715^{**}x^2$	0,6399
	45	$y = -6,4829 + 8,3171^{**}x - 0,8930^{**}x^2$	0,7788
	75	$y = -2,0114 + 7,3685^{**}x - 0,8023^{**}x^2$	0,3495
	90	$y = -9,3698 + 13,2889^{**}x - 1,4847^{**}x^2$	0,7184
MST	15	$y = -0,4202 + 2,8118^{**}x - 0,2699^{**}x^2$	0,4234
	30	$y = 3,3899 + 3,5789^{**}x - 0,4063^{**}x^2$	0,5223
	45	$y = -1,7078 + 6,4728^{**}x - 0,6948^{**}x^2$	0,4847
	60	$y = -5,5427 + 10,5103^{**}x - 1,1580^{**}x^2$	0,7077
	75	$y = -2,9079 + 10,0632^{**}x - 1,0732^{**}x^2$	0,3770
	90	$y = -12,2166 + 15,8939^{**}x - 1,6717^{**}x^2$	0,7733
MSH	15	$y = 4,0840 + 3,1040^{**}x - 0,3319^{**}x^2$	0,5000
	30	$y = 5,0824 + 5,9425^{**}x - 0,6576^{**}x^2$	0,6720
	45	$y = 5,5822 + 7,9465^{**}x - 0,8561^{**}x^2$	0,5262
	60	$y = -19,4835 + 24,0958^{**}x - 2,6210^{**}x^2$	0,6622
	75	$y = 0,0831 + 15,1598^{**}x - 1,5819^{**}x^2$	0,5477
	90	$y = -10,9481 + 24,5865^{**}x - 2,6551^{**}x^2$	0,6771
MSTL	15	$y = 2,8719 + 9,5150^{**}x - 1,0050^{**}x^2$	0,6101
	30	$y = 9,0573 + 13,8255^{**}x - 1,5354^{**}x^2$	0,7108
	45	$y = -0,0548 + 21,0497^{**}x - 2,2432^{**}x^2$	0,5971
	60	$y = -11,3745 + 33,0316^{**}x - 3,6275^{**}x^2$	0,7784
	75	$y = 2,7126 + 27,5292^{**}x - 2,8548^{**}x^2$	0,6653
	90	$y = -40,4711 + 58,5336^{**}x - 0,6,4526^{**}x^2$	0,8114

\*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

Las comparaciones de media de Tukey para MSR mostraron que con las dosis de agua de 3,6 y 5,4 mm d<sup>-1</sup>, se presentaron los valores medios más altos de MSR a lo largo de toda la etapa de vivero, cuyos valores al final del ensayo fueron 20 y 18,4 g respectivamente, con efectos iguales sobre la variable MSR, por no presentar diferencias estadísticas. Las dosis que mostraron los menores valores de MSR fueron 2,3 y 6,8 mm.d<sup>-1</sup>, los cuales fueron al final del ensayo 13,6 y 13,5 g respectivamente (Tabla 2.16).

Según Osiadacz (1994) la distribución de raíces es afectada por los contenidos de humedad en el suelo, la frecuencia de riego y la dosis de agua aplicada. Esto coincide con los estudios realizados por Villablanca (1994), quien encontró una fuerte asociación entre en el método de riego y la distribución de las raíces. Lo anterior puede estar relacionado también, con lo planteado por Steduto et al. (2012), quienes sostienen que el exceso de agua puede afectar las relaciones hídricas del árbol de aguacate y con ello el funcionamiento general; bajos niveles de oxígenos en el suelo reducen el crecimiento radicular y con humedades prolongadas se puede causar necrosis a nivel radicular, que a su vez se puede reflejar en una abscisión foliar. En este sentido también Collao (1998) en investigaciones con aguacate en bolsa a nivel de vivero, evidenció mayor actividad radicular cuando disponía del 21% de oxígeno en el sustrato utilizado, con porcentajes inferiores al 21%, evidenció reducciones en el peso seco de la raíz.

**Tabla 2.16** Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de raíz (MSR) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	Masa seca de raíz (g)					
	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	5,18 C	7,38 B	8,63 B	9,77 B	11,25 C	13,58 B
3,6	7,38 A	10,0 A	11,25 A	11,80 A	16,95 A	20,00 A
5,4	6,45 AB	9,67 A	10,98 A	11,93 A	14,43 AB	18,33 A
6,8	5,40 BC	8,10 B	8,73 B	9,80 B	11,98 BC	13,50 B

DDT: días después de la trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey (p<0,05).

**2.3.6 Masa seca de tallo (MST).** La masa seca de tallo se desarrolló linealmente en todas las dosis de agua, a excepción de la dosis 2,3 mm.d<sup>-1</sup>, donde esta variable disminuyó después de registrar la máxima ganancia de biomasa, aproximadamente a los 60 DDT (Figura 2.3 b y tabla 2.13). Adicionalmente, el análisis de varianza reportó que hubo efectos significativos (p=0,01-0,05) de la dosis de agua sobre la MST durante la etapa de vivero (Tabla 2.14). Por su parte la MST aumentó linealmente hasta una dosis promedio de agua de 4,70 mm d<sup>-1</sup>, desde donde comenzaron a decrecer las tasas de crecimiento de esta variable, ajustándose esta respuesta a un modelo de

regresión cuadrática (Figura 2.4 b y tabla 2.15).

La prueba de comparaciones de media de Tukey indicó que las dosis 3,6 y 5,4 mm d<sup>-1</sup> registraron los mayores valores de MST a lo largo de la etapa de vivero, los cuales fueron 25,30 y 23,32 g respectivamente, que a su vez resultaron ser estadísticamente iguales al final del ensayo. Por su parte, los menores valores de MST fueron obtenidos con la mayor y menor dosis de agua (Tabla 2.17).

Casierra y Gómez (2008), afirman que bajo condiciones de déficit o exceso de humedad en el sustrato, se disminuye la capacidad fotosintética de la planta lo cual conlleva a una reducción de esta variable, esto se puede apreciar tanto con la mínima, como también con la máxima dosis de agua, donde la acumulación de masa seca de tallo presentó los valores más bajo. En este sentido Ouma (2007), afirma que el peso seco de raíz y el peso seco de toda la planta aumentan de manera similar con el tamaño del contenedor y la frecuencia de riego. A medida que se aumenta el tamaño del contenedor y la frecuencia de riego, se aumentan también los pesos secos de la raíz y de toda la planta.

En general, los resultados presentados pueden estar indicando que las plantas alcanzan un máximo desarrollo hasta donde el tamaño del contenedor y el sustrato utilizado le permiten explorar y explotar la capacidad de absorción de agua y nutrientes, y en este sentido Hanson et al. (1987) y Vizzoto, Orietta, Costa (1993), sostienen que bajo pequeños recipientes las plantas pueden experimentar en cierta etapa de su desarrollo, restricciones en el crecimiento de las raíces, y por consiguiente reducción en el dosel y crecimiento de la planta, el área foliar, peso seco de la raíz, tallo y hojas.

**Tabla 2.17.** Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de tallo (MST) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluviéjo, Sucre.

Dosis de agua (mm,d <sup>-1</sup> )	Masa seca de tallo (g)					
	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	4,33 B	9,15 B	9,83 B	13,05 B	14,15 C	15,75 C
3,6	7,18 A	10,83 A	12,78 AB	15,40 A	18,65 AB	25,30 A
5,4	6,18 A	10,33 A	13,53 A	17,57 A	19,42 A	23,32 A
6,8	6,60 A	9,10 B	10,50 AB	12,25 B	16,45 BC	19,75 B

DDT: Días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**2.3.7 Masa seca de hojas (MSH).** La masa seca destinada a la formación de hojas se incrementó linealmente en todas las dosis de agua (Figura 2.3 c y Tabla 2.13). Así mismo, el análisis de varianza indica que para MSH hubo diferencias significativas ( $p < 0,01-0,05$ ) entre los efectos de las dosis de agua durante la etapa de vivero (Tabla 2.14).

Así mismo en la etapa de vivero, la MSH aumentó linealmente con el riego, hasta alcanzar un máximo bajo una dosis promedio de 4,62 mm d<sup>-1</sup>, desde donde comenzó a decrecer ajustándose a un modelo cuadrático (Figura 2.4 c y Tabla 2.15). Esta disminución en MSH registrado con la mayor dosis, puede hallar su explicación en un posible exceso de humedad en el sustrato, el cual afecta negativamente la expansión y formación de la hoja (Kozlowski y Pallardy 1997).

Las comparaciones de media de Tukey mostraron, al igual que la anterior variable, que los mayores valores de MSH se dieron con las dosis 3,6 y 5,4 mm d<sup>-1</sup>, cuyos valores al final del ensayo fueron estadísticamente iguales. Los menores valores de MSH se dieron con los tratamientos extremos 2,3 y 6,8 mm d<sup>-1</sup> (Tabla 2.18). Al respecto Collao (1998), encontró en aguacates injertados, que el peso seco de la parte aérea era influenciado por la dosis de riego, siendo mayor en plantas sometidas a altas tasas de riego. Tal comportamiento difiere con los resultados encontrados en la presente investigación, ya que la MSH según el modelo al que se ajustó, presentó un máximo no con la dosis más alta, sino con una dosis promedio de 4,62 mm d<sup>-1</sup>, mientras que con la máxima dosis de agua del experimento (6,8 mm d<sup>-1</sup>) se tuvieron los menores valores de MSH, igual que con la menor dosis. En este sentido Santiago, Nogueira y Lopes (2002), evaluando plántulas de *Tabebuia Chrysotricha* encontraron reducciones de esta variable cuando aplicaron también la menor dosis de riego.

Por su parte Montejó y Sánchez (2012), coinciden en parte con los resultados de esta investigación, ya que encontraron una relación entre menores valores de masa seca de hojas, con el uso de la dosis más baja de agua. De igual forma en sus estudios con *Hibiscus elatus*, encontraron que, aplicando riego frecuentemente obtenían un efecto marcado en el crecimiento de las plantas, incidiendo significativamente en la producción de biomasa de hojas y de raíz total.

**Tabla 2.18** Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de hojas (MSH) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Masa seca de hojas (g)						
Dosis de agua (mm d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	9,23 C	14,93 C	19,63 B	21,87 B	25,70 C	32,58 C
3,6	11,55 A	18,80 A	22,37 AB	30,37 A	31,50 B	42,80 AB
5,4	10,58 AB	17,15 B	24,25 A	32,93 A	36,60 A	44,75 A
6,8	10,23 BC	15,73 BC	19,85 B	25,25 B	30,65 B	34,45 BC

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey (p<0,05).

**2.3.8 Masa seca total (MSTL).** La masa seca total se incrementó linealmente con las dosis de agua, a excepción de la dosis  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ , donde la respuesta de la variable se ajustó a un modelo cuadrático (Figura 2.3 d y Tabla 2.13). Por su parte, el análisis de varianza señala que en la MSTL hubo diferencias altamente significativas entre las dosis de agua durante la etapa de vivero (Tabla 2.14). En esta etapa, la MSTL aumentó en promedio hasta la dosis de  $4,57 \text{ mm.d}^{-1}$ , desde donde comenzó a decrecer, siendo esta respuesta explicada por un modelo de regresión cuadrático (Figura 2.4 d y tabla 2.15). En este sentido es importante resaltar, que de acuerdo a los modelos cuadráticos a los que se ajustó la MSTL con las dosis de agua, el máximo valor de MSTL se dio entre los 75 y 90 DDT, siendo este punto de inflexión un indicador del momento óptimo de las plantas para ser llevadas a campo.

A su vez, estudios realizados por Cosío (1997) en requerimiento hídrico para plantas de aguacate, evidenciaron resultados, en los que la MSTL tendió a incrementarse a medida que se aumentaba las dosis de agua. Los resultados coinciden en parte con los obtenidos por Vergara et al. (2017), quienes en un ensayo con plántulas de *G. melina arborea* bajo diferentes niveles de riego, observaron que al aumentar la lámina de riego se generaba un menor contenido de biomasa seca total, tal y como sucedió con la mayor dosis de agua del presente ensayo.

Freitas, Barroso, Carneiro, Penchel y Figueiredo (2006) en estudios con *Eucalyptus Seedlings*, encontraron una reducción de la biomasa seca total en niveles de estrés hídrico, lo cual también se evidenció en el comportamiento de la variable MSTL del presente ensayo, bajo la menor dosis de agua. En este sentido también Osorio, Chaves y Pereira (1998), atribuyen la baja producción de biomasa seca total a una disminución en el área foliar, provocada por déficit hídrico. En el presente estudio se encontró que al aumentar la dosis de riego disminuyó la biomasa seca total, este comportamiento puede estar relacionado con una reducción de la cantidad de oxígeno en la zona radicular, tal como lo sostiene Walker (1975), al afirmar que una limitación de oxígeno origina numerosos cambios físicos, químicos y biológicos en la planta, entre los que se destacan: producción de sustancias tóxicas como etileno y pérdida de compuestos solubles debido a la actividad anaeróbica microbiana. Así mismo sostiene que las condiciones de hipoxia dificultan la absorción activa de nutrientes minerales por las raíces.

## **2.4 DETERMINACIÓN DEL $K_c$ EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS PARA AGUACATE (*Persea americana* MILLER) VARIEDAD AMERICANA.**

En esta investigación se evaluaron cuatro coeficientes de cultivo ( $K_c$ : 0,5;  $K_c$ : 0,8;  $K_c$ : 1,20 y  $K_c$ : 1,50) que multiplicados por la evapotranspiración de referencia máxima de la zona, se transformaron en dosis de riego, las cuales se aplicaron diariamente a cada tratamiento, mediante un sistema de riego por goteo hasta los 90 DDT del cultivo (Tabla 2.5).

Para el cálculo de las dosis de agua aplicadas en los tratamientos, se utilizó la máxima evapotranspiración presente en el lugar de estudio, en este caso ETo: 4,5 mm.d<sup>-1</sup>.

Teniendo en cuenta los máximos valores obtenidos en las variables de crecimiento, acumulación y distribución de biomasa, se determinó que las dosis de agua que más influenciaron la respuesta de las variables estudiadas, fueron 3,6 mm d<sup>-1</sup> (K<sub>c</sub> : 0,8) y 5,4 mm d<sup>-1</sup> (K<sub>c</sub>: 1,20), con las cuales se obtuvieron respuestas similares en ambas variables, por tanto haciendo énfasis en el uso eficiente del agua, tema de gran importancia en los Montes de María, se optó por considerar un K<sub>c</sub> de 0,8 como el más apropiado para las condiciones de la investigación.

## 2.5 CONCLUSIONES

- Las dosis que presentaron los mayores valores en las variables de crecimiento y acumulación de biomasa fueron 3,6 y 5,4 mm d<sup>-1</sup>.
- Las variables de crecimiento y acumulación de biomasa se ajustaron a modelos de regresión cuadrático, con máximos valores en dosis intermedias, donde las variables de crecimiento altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar, mostraron su máximo rendimiento con las dosis promedios 4,76 mm d<sup>-1</sup>, 4,91 mm d<sup>-1</sup>, 4,68 mm d<sup>-1</sup> y 4,62 mm d<sup>-1</sup> respectivamente. De igual forma las variables de acumulación de biomasa, masa seca de raíz, masa seca de tallo, masa seca de hoja y masa seca total, arrojaron los mayores valores con las dosis promedios 4,32 mm d<sup>-1</sup>, 4,70 mm d<sup>-1</sup>, 4,62 mm d<sup>-1</sup> y 4,57 mm d<sup>-1</sup> respectivamente.
- De acuerdo a los modelos de regresión cuadrática a los que se ajustaron los resultados del ensayo, el punto máximo de acumulación de biomasa (MSTL) presentado a los 90 DDT, constituye el momento óptimo para llevar las plantas a sitio definitivo.
- La dosis 3,6 mm d<sup>-1</sup> asociada a un K<sub>c</sub> de 0,8 se estimó como la más apropiada para las condiciones del ensayo.

## 2.6 LITERATURA CITADA

- Avilan, L., Meneses, L., Sucre, R., y Serpa, D. (1984). Efecto de las propiedades físicas del suelo sobre la distribución radical del aguacate (*Persea americana* Mill). *Fruit*, 39 (7-8), 475-482.
- Barbosa, R. (2013). *Manejo hídrico sobre o desenvolvimento e a qualidade de mudas florestais nativas em ambientes protegidos*. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. 119f. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11449/99781>
- Casierra, F y Gómez, N. (2008). Crecimiento foliar y radical en plantas de fique (*furcraea castilla* y *f. macrophylla*) bajo estrés por encharcamiento. *Revista Agronomía Colombiana*, 26 (3), 381-388. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11469>
- Collao, Y. (1998). *Estimación de los requerimientos hídricos en vivero de paltos injertados (Persea americana Mill.) Cv, Hass*. Universidad Católica De Valparaíso Facultad De Agronomía. Área De Fruticultura. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/A-B-C/CollaoYarela1998.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/A-B-C/CollaoYarela1998.pdf)
- Cosío, C. (1997). *Aproximación de los requerimientos hídricos de portainjertos de palto (Persea americana Mill.) cv. Mexícola*. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/A-B-C/CosioCristian1997.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/A-B-C/CosioCristian1997.pdf)
- Cairo, P. (1995). *Curso Básico De Relações Hídricas De Plantas*. UESB. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Brasil.
- Fox, L y Montague, T. (2009). Influence of irrigation regime on growth of select field-grown tree species in a semi-arid climate. *Journal of Environmental Horticulture* 27(3), 134-138.
- Ferreira, R y Sellés, G. (2007). *Manejo del riego y suelo en palto*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA N° 160, 120 p, La Cruz, Chile.
- Freitas, T., Barroso, D., Carneiro, J., Penchel, R., y Figueiredo, F. (2006). Mudanças de eucalipto produzidas a partir de miniestacas em diferentes recipientes e substratos. *Revista Arvore*, 30 (4), 519-528. Sociedade de Investigações Florestais. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400004>



- Fernández, R., Perry, R., Flore, J., y McLean, R. (1997). Photosíntesis, c-photosynthate distribution and shoot and root growth of young apple trees on 3 rootstocks exposed to flooding, *acta Horticulturae*, 451, 351- 360.  
Recuperado de <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.451.41>
- Faber, B., Arpaia, M., y Yates, M. (1995) *Irrigation management of avocado in a California coastal environment*. Ponencia presentada en: World Avocado Congress III. Israel.  
Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/IRRIGATION-MANAGEMENT-OF-AVOCADO-IN-A-CALIFORNIA-Faber-Arpaia/04f4c6abf3bc56d61a5927fb61a4a02018012e98#citing-papers>
- FAO. (1992). CROPWAT a computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 26,126. Roma.
- Gutiérrez, M., Gómez, R., y Rodríguez, N. (2010). Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma Cacao* L), en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato. *Revista Ciencia y Tecnología Agorpecuaria*, 12(1), 33-41. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol12\\_num1\\_art:213](https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:213)
- Gardiazabal, F., Magdahl, C., Mena, F., y Wilhelmy, C. (2003). *Determinación del coeficiente de cultivo ( $k_c$ ) para paltos cv, hass en Chile*. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5\\_p329.pdf](http://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p329.pdf).
- Huraca, H., Viteri, P., Sotomayor, A., Viera, W., y Jiménez, J. (2016). *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de aguacate (Persea americana Mill.)*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Ecuador
- Heiskanen, J. (1995). Water status of sphagnum peat and a peat- perlite mixture in containers subjected to irrigation regimes. *HortScience* 30(2): 281-284. [https://pdfs.semanticscholar.org/5d12/3b7b58f98fce5799173b9f42d52a9ae45ded.pdf?\\_ga=2.191607466.129967834.1589608265-770061629.1589327885](https://pdfs.semanticscholar.org/5d12/3b7b58f98fce5799173b9f42d52a9ae45ded.pdf?_ga=2.191607466.129967834.1589608265-770061629.1589327885)
- Hanson, P., Dixon, R., y Dickson, R. (1987). Effect of container size and shape on the growth of 'northern red' oak seedling. *HortScience* 22, 1293-1295.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2016). Datos hidrológicos, meteorológicos o ambientales en series históricas. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co>.
- Kirkham, M. (2005). *Principles of soil and plant water relations*. Elsevier Academic Press, Amsterdam, The Netherlands.
- Kozłowski, T y Pallardy, S. (1997). *Physiology of woody plants*. Second edition. San Diego, Academic Press, 58.

- Letey, J. y Stolzy, L. (1964). Measurement of oxygen diffusion rates with the platinum microelectrode, 1. Theory and equipment. *Hilgardia* 35(20), 235-283. DOI:10.3733/hilg.v35n20p545
- Martinelli, L. (2012). *Produção de mudas nativas sob diferentes manejos hídricos*. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. Universidade Estadual Paulista. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11449/99747>
- Montejo, L y Sánchez, J. (2012). Efecto de los tratamientos de semilla, la procedencia y el riego en el establecimiento de *Hibiscus elatus*. *Pastos y Forrajes*, 35(3), 247-273. Instituto de Ecología y Sistemática. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Habana, Cuba. Recuperado el 18 de mayo de 2020, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942012000300002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000300002&lng=es&tlng=es).
- Moreno, L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11131/37762>
- Morales, R., Alzugaray, O., Avaria, P., Díaz, A., Gallardo, P., y De Lourdes, P. (1998). *Técnicas para producir plantas forestales en Aysén*. INFOR (Instituto Forestal). Coyhaique, Chile. Recuperado el 23 de mayo de 2020 de <https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/handle/123456789/13236>
- Neuman, D. (1993). Shoot responses to root stress - a resource gathering point of view. *Journal of Arboriculture*, 19(2), 118-123.
- Ouma, G. (2007). Morphological and physiological parameters of avocado (*Persea americana*) rootstock seedlings as affected by different container sizes and different levels of irrigation frequency. *Journal of Biological Sciences*, 7, 833-840. DOI: 10.3923/jbs.2007.833.840 Recuperado de <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jbs/2007/833-840.pdf>
- Ouma, G. (2006). Growth responses of 'rough lemon' (*Citrus limon* L) rootstock seedlings to different container sizes and nitrogen levels. *Agricultura Tropica ET Subtropica*, 39(3), 183-188. Recuperado de [http://www.icabr.com/agricultura/03/39/39\\_3\\_07.htm](http://www.icabr.com/agricultura/03/39/39_3_07.htm)
- Osorio, J., Osorio, M., Chaves, M., y Pereira, J. (1998). Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, 18 (6), 363-373. Recuperado de <https://doi.org/10.1093/treephys/18.6.363>

- Osiadacz, M. (1994). *Caracterización del sistema radical del chirimoyo (Annona cherimola Mill.) y aproximación al patrón de distribución y consumo de agua, bajo los sistemas de riego por microaspersión y goteo*. Universidad Católica de Valparaíso. Quillota (Chile).
- Palencia, G., Mercado, T., y Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.
- Sanclemente, M., Schaffer, B., Gil, P., Davie, F., y Crane, J. (2013). Leaf removal Before flooding influences recovery of avocado (*Persea americana* Mill.) trees from flooding stress. *Scientia Horticulturae*, 150, 154-163.
- Steduto, P. Hsiao, T. Fereres, E. Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego Y Drenaje*. Recuperado de [http://www,fao,org/3/a-i2800s,pdf](http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf).
- Schaffer, B., Davies, F., y Crane J. (2006). Responses to tropical and subtropical fruit trees to flooding in calcareous soils. *HortScience*, 41(3), 549-555.
- Santiago, A., Nogueira, R., y Lopes, E. (2002). Crescimento de plantas jovens de *Mimosa caesalpinifolia* Benth., cultivada sob estresse hídrico. *Revista Ecosystema*, 26(1), 23-30. Recuperado el 18 de mayo de 2020 de <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ecossistema/viewarticle.php?id=6>
- Schaffer, B y Whiley, A. (2002). *The avocado: botany, production and uses*. Capítulo 6. *Environmental physiology*, Primera edición, 133-154. Recuperado el 19 de enero de 2020 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.11.010>
- Schaffer, B., Andersen, P., y Ploetz, R. (1992). Responses of fruit crops to fooding. *Horticultural Reviews*, 13, 257–313. Chapter: 7. Recuperado el 18 de mayo de 2020 de [https://www.researchgate.net/publication/229724734\\_Responses\\_of\\_Fruit\\_Crops\\_to\\_Flooding](https://www.researchgate.net/publication/229724734_Responses_of_Fruit_Crops_to_Flooding)
- Torres, R. (2015). *Producción de plantones de palto (Persea americana Mill.) cv. Mexicola, con cinco niveles de humedad en dos tipos de sustrato bajo invernadero*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/414>
- Taiz, L y Zeiger, E. (1998). *Plant physiology, Second edition*. Redwood City, Sinauer Associates Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- Toledo, J. (1996). *Aproximación a los requerimientos hídricos en vivero portainjertos de paltos (Persea americana Mill) cv mexícola*. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía, 23. Quillota. Chile.

- Tang, Z y Kolowski, T. (1982). Some physiological and morphological responses of *Quercus macrocarpa* seedlings to flooding. *Canadian Journal of Forest Research*, 12, 196-202. Recuperado de <https://dokumen.tips/documents/some-physiological-and-morphological-responses-of-quercus-macrocarpa.html>
- Departamento De Agricultura De Los Estados Unidos (USDA). (1962). *Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego*. (U.S. Soil Salinity Laboratory). (Lab. de suelos IRYDA, 1973).
- Vergara, A., Mercado, T., Jarma, A., y Gatti, K. (2017). Requerimiento hídrico de *Gmelina arborea* en etapa de vivero bajo condiciones controladas. *Floresta e Ambiente*, 24, e20150129. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/2179-8087.012915>
- Vuthapanich, S., Hofman, P., Whiley, T., Klieber, A., y Simons, D. (1995). *Effects of irrigation scheduling on yield and postharvest quality of 'Hass' avocado fruit, In: The Way Ahead*. Australian Avocado Growers Federation Inc, Australia.
- Villablanca, I. (1994). *Estudio comparativo de la distribución y densidad de raíces absorbentes en palto (Persea americana Mill) cv Hass, en función a los patrones de distribución uso-consumo del agua en el suelo evaluados bajo dos sistemas de riego presurizado (goteo y microaspersión)*. Universidad Católica de Valparaíso, 108. Quillota. Chile.
- Vizzoto, G., Orietta, L., y Costa, G. (1993). Root restriction and photosynthetic response in a peach rootstock. *HortScience*, 28(5), 556.
- Van Noordwijk, M y De Willigen, P. (1984). Mathematical models on diffusion of oxygen to and within plant roots, with special emphasis on effects of soil-root contact: I. Derivation of the models. *Plant and Soil*, 77, (2/3), 215- 231. Recuperado el 19 de Mayo de 2020 de [www.jstor.org/stable/42934528](http://www.jstor.org/stable/42934528).
- Wencomo, H y Ortiz, R. (2010). Comportamiento de 23 accesiones de *Leucaena* spp. en condiciones de vivero. *Revista Pastos y Forrajes*, 33 (2). Estación experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Recuperado en 18 de mayo de 2020, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942010000200002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942010000200002&lng=es&tlng=es).
- Wehner, F., Olsen, H., Tinel, E., Saffran, K., y Kinne, R. (2003). Cell volume regulation: osmolytes, osmolyte transport, and signal transduction. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 148, 1-80. DOI: 10.1007/s10254-003-0009-x
- Walker, N. (1975). Soil Microbiology. A Critical Review. *Journal of Basic Microbiology*, 262 S, 26 Abb. London. <https://doi.org/10.1002/jobm.19770170328>

Weather Spark: Clima promedio en Toluviéjo, Colombia [Internet]. Recuperado el 02 de Enero de 2020 <https://es.weatherspark.com/y/22579/Clima-promedio-en-Toluviéjo-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>

Zonia, L y Munnik, T. (2007). Life under pressure: hydrostatic pressure in cell growth and function. *Trends in Plant Science*, 12(3), 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.01.006>

**CAPÍTULO III. EFECTO DE CUATRO DOSIS DE AGUA SOBRE LAS  
VARIABLES DE INTERCAMBIO GASEOSO DEL AGUACATE (*Persea  
americana* MILLER.) VARIEDAD AMERICANA BAJO CONDICIONES  
CONTROLADAS EN ETAPA DE VIVERO**

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de cuatro dosis de agua (2,3; 3,6; 5,4 y 6,8 mm d<sup>-1</sup>) sobre la variable de intercambio gaseoso en etapa de vivero bajo condiciones controladas para aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana, en la vereda El Suan del municipio de Toluviejo, en la subregión Montes de María del departamento de Sucre (Colombia). El estudio se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos, bajo sistema de riego por goteo y 4 repeticiones, para un total de 16 unidades experimentales. Dentro de la variable de intercambio gaseoso, se evaluó Fotosíntesis ( $P_n$ ) ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Conductancia Estomática ( $g_s$ ) ( $\mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Déficit de Presión de Vapor (DVP) (kpa), Transpiración (E) ( $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA); para ello se utilizó un analizador de gases al infrarrojo (IRGA) modelo CIRAS-3 PP System, programado con una radiación fotosintéticamente activa (RFA) de 1000  $\mu\text{moles de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y concentración de 400 ppm de  $\text{CO}_2$ . Los resultados muestran que la Fotosíntesis ( $P_n$ ) fue influenciada significativamente ( $p<0,01$ ) por los efectos de las dosis de riego, este parámetro se incrementó con las dosis de riego hasta registrar una tasa de  $31,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con una dosis promedio de  $4,67 \text{ mm d}^{-1}$ , a partir de la cual comenzó a decrecer. La Conductancia estomática ( $g_s$ ) respondió significativamente ( $p<0,01$ ) a los efectos de las dosis de agua. La respuesta de la variable Conductancia estomática ( $g_s$ ) fue similar a la registrada por la variable  $P_n$ , pero en este caso el modelo ( $R^2=86,46\%$ ) señaló que la máxima respuesta de la  $g_s$  ( $42,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) se obtuvo con una dosis promedio de riego de  $5,05 \text{ mm d}^{-1}$ . En cuanto a la Transpiración (E), esta fue influenciada significativamente ( $p<0,01$ ) por la dosis de riego, mostrando similar respuesta a la registrada por la Fotosíntesis ( $P_n$ ) y la Conductancia estomática ( $g_s$ ). El modelo ( $R^2=76,36\%$ ) estimó que la máxima E fue de  $1,08 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , siendo obtenida con una dosis promedio de riego de  $5,07 \text{ mm d}^{-1}$ . El DVP respondió significativamente ( $p<0,01$ ) a los efectos de las dosis de riego y de igual forma este parámetro mostró similar respuesta a las registradas por las variables Fotosíntesis ( $P_n$ ) y Conductancia estomática ( $g_s$ ). De acuerdo al modelo ( $R^2=57,64\%$ ), el máximo DVP que experimentaron las hojas fue de  $5,29 \text{ mb}$  con una dosis de riego de  $5,29 \text{ mm d}^{-1}$ . Por último el EUA respondió ( $p<0,01$ ) a los efectos de las dosis de agua, la cual disminuye con el incremento de las dosis de agua. Esta respuesta fue explicada por un modelo de regresión cuadrática ( $R^2=96,63\%$ ), donde la EUA inicialmente disminuyó con la dosis de agua, pero luego tendió a incrementarse con la dosis  $5,4 \text{ mm.d}^{-1}$ ; el mayor valor de EUA se presentó con la dosis de agua más baja ( $2,3 \text{ mm d}^{-1}$ ).

**Palabras claves:** Requerimiento hídrico, intercambio gaseoso, dosis de agua.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of four doses of water (2,3; 3,6; 5,4 and 6,8 mm d<sup>-1</sup>) on the variable of gas exchange in the nursery stage under controlled conditions for Avocado (*Persea americana* Miller.) American variety, in the village of El Suan in the municipality of Toluviéjo, in the Montes de María subregion of the department of Sucre (Colombia). The study was conducted under a completely randomized design (DCA) with 4 treatments, under drip irrigation system and 4 repetitions, for a total of 16 experimental units. Within the gas exchange variable, Photosynthesis (P<sub>n</sub>) (μmolCO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), Stomatic Conductance (g<sub>s</sub>) (μmol H<sub>2</sub>O. m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), Vapor Pressure Deficit (DVP) (mb) was evaluated, Perspiration (E) (mmolH<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) and Water Use Efficiency (WUE); For this, an infrared gas analyzer (IRGA) model CIRAS-3 PP System was used, programmed with a photosynthetically active radiation (RFA) of 1000 μmoles of photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> and concentration of 400 ppm of CO<sub>2</sub>. The results show that Photosynthesis (P<sub>n</sub>) was significantly influenced (p <0.01) by the effects of the irrigation doses, this parameter was increased with the irrigation doses until registering a rate of 31,83 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> with an average dose 4,67 mm d<sup>-1</sup>, from which it began to decrease. Stomatic Conductance (g<sub>s</sub>) responded significantly (p <0.01) to the effects of water doses. The response of the Stomatic Conductance (g<sub>s</sub>) variable was similar to that recorded by the P<sub>n</sub> variable, but in this case the model (R<sup>2</sup> = 86.46%) indicated that the maximum response of the g<sub>s</sub> (42,08 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) was obtained with an average irrigation dose of 5,05 mm d<sup>-1</sup>. Regarding Transpiration (E), it was significantly influenced (p <0.01) by the irrigation dose, showing a similar response to that recorded by Photosynthesis (P<sub>n</sub>), Stomatic Conductance (g<sub>s</sub>). The model (R<sup>2</sup> = 76.36%) estimates that the maximum E was 1,08 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, being obtained with an average irrigation dose of 5,07 mm d<sup>-1</sup>. The DVP responded significantly (p <0.01) to the effects of irrigation doses and in the same way this parameter showed a similar response to those recorded by the variables Photosynthesis (P<sub>n</sub>) and Stomatic conductivity (g<sub>s</sub>). According to the model (R<sup>2</sup> = 57.64%), the maximum DVP experienced by the leaves was 5,29 mb with an irrigation dose of 5,29 mm d<sup>-1</sup>. Finally, the WUE responded (p <0.01) to the effects of water doses, which decreases with increasing water doses. This response was explained by a quadratic regression model (R<sup>2</sup> = 96.63%), where the WUE initially decreased with the water dose, but then tended to increase with the 5,4 mm.d<sup>-1</sup> dose; the highest WUE value was presented with the lowest water dose (2,3 mm d<sup>-1</sup>).

**Keywords:** Water requirement, gas exchange, water dose.



### 3.1 INTRODUCCIÓN

La aplicación del riego de manera correcta es fundamental en la producción de plántulas de cualquier especie comercial, puesto que la falta o exceso de agua puede comprometer el crecimiento y desarrollo de las mismas y su productividad en campo. Un riego excesivo o deficitario en las plantas puede tener consecuencias negativas. El exceso de agua puede ocasionar lixiviación de los nutrientes, lo cual afecta el ambiente y aumenta los costos de producción, mientras que el déficit hídrico puede resultar en un bajo crecimiento y muerte de las plántulas (Barbosa, 2013). A nivel mundial, los rendimientos promedios de los huertos de palto o aguacate (*Persea americana* Mill) son bajos en comparación con otras frutas de pulpa. Esto se debe principalmente a que para producir frutos de semilla grande y ricos en aceite se requiere de un alto costo en fotosintatos (Wolstenholme, 1986).

Por su parte en suelos con baja macroporosidad es común, incluso con contenidos de agua cercanos a capacidad de campo, encontrar situaciones de aireación deficiente que afectan fuertemente el crecimiento de las raíces. En este sentido, bajo esta condición se tienen a las plantaciones de aguacate que se desarrollan en suelos franco limosos a Arcillosos donde la probabilidad de generar condiciones de hipoxia es muy alta (Ferreira y Selles, 2007). En un suelo con alto contenido de aire, el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera es lo suficientemente rápido para impedir la deficiencia de O<sub>2</sub> o la toxicidad del exceso de CO<sub>2</sub> u otros gases. Normalmente los suelos son descritos según un conjunto de propiedades físicas, tales como estructura, textura, densidad aparente, distribución y tamaño de poros y características morfológicas del perfil. Sin embargo, el efecto de estos factores sobre el crecimiento del sistema radical de las plantas es indirecto (Ferreira, 2017).

De igual modo en ambientes secos y cálidos se consumen grandes volúmenes de agua para riego debido a la mayor cantidad de energía solar disponible y a la mayor tasa de evapotranspiración de las plantas; mientras que en ambientes más húmedos y cálidos el consumo de agua es menor (Torrán, 2007). En este sentido es clara la importancia de mantener las cantidades óptimas y oportunas de agua en los suministros hechos a la plantas, con el fin de evitar afectaciones por déficit hídrico o por exceso de humedad que incidan en la producción. Al respecto Lahav y Kalmar (1983) sostienen que el aporte hídrico garantiza un buen tamaño de fruta. Por otro lado, Silber, Israeli, Levi, Keinan, Shapira, Chudi, Golan, Noy, Levkovitch y Assouline (2012) reportan que una adecuada frecuencia de riego es crucial para un óptimo desarrollo del fruto.

Por otra parte Anguiano, Alcántar, Toledo, Tapia y Vidales (2007) mencionan la importancia de contar con disponibilidad de agua en ciertas regiones, lo que podría significar incrementos en la producción. Razón por la cual, en este trabajo, se planteó determinar los efectos de las dosis de riego sobre las variables de intercambio gaseoso en aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana, entendiendo estos parámetros como referentes importantes dentro del desarrollo y producción de futuras plantaciones aguacate.

## 3.2 METODOLOGÍA

**3.2.1 Localización del proyecto.** El trabajo experimental se llevó a cabo bajo condiciones controladas a nivel de vivero, en la vereda El Suan del municipio de Toluviejo, en la subregión Montes de María del Departamento de Sucre (Colombia), ubicado en los 09° 27' 07" latitud (N) y 75° 26' 30" longitud (W), con una elevación de 88 msnm. El área donde se desarrolló la investigación presenta una precipitación media anual de 1159 mm, temperatura promedio de 27,3 °C, los valores anuales del brillo solar son de 5,9 horas / día y una humedad relativa del 80% (Weather Spark).

**3.2.2 Establecimiento de la investigación.** Las condiciones del ensayo se mantuvieron controladas con cubierta plástica transparente para evitar influencia de la precipitación y así medir solamente el efecto del agua aplicada en los tratamientos, también se controló la radiación solar y viento con polisombra al 65%. Para la realización de la investigación se consideró importante ubicar dentro de los Montes de María un sitio propicio para el ensayo, donde el recurso hídrico estuviera disponible y fuera adecuado para el uso agrícola, a su vez que el sustrato a utilizar tuviera calidad y se facilitara el acceso al mismo. Tanto al sustrato como al agua utilizada se le hicieron los respectivos análisis químicos en los laboratorios de la Universidad de Córdoba (Tabla 3.1 y Tabla 3.2). En cuanto a las propiedades químicas del agua, esta se clasifica como C1S1 (USDA, 1962). Por su parte se diseñó e instaló un sistema de riego por goteo para aplicar diariamente los tratamientos.

En el ensayo se trabajó con plantas de aguacate criollo o antillano (*Persea americana* Miller.) variedad americana, establecidas en bolsas de polietileno de 18cm de diámetro por 35 cm de longitud, calibre 3, en un sustrato 1:1:1 formado por una mezcla de arena, cascarilla de arroz y materia orgánica respectivamente. De igual forma se tomaron muestras para el análisis químico del sustrato (Tabla 3.1), al que también se le determinó mediante el uso de tensiómetros una capacidad de campo (CC) del 24,8% de humedad (0,3 Bares) y un punto de marchitez permanente (PMP) del 18,6% (15 Bares) arrojando como resultado un índice de humedad disponible de 6,2%. Al agua que se utilizó en el ensayo se le determinó también la calidad para el uso agrícola, teniendo en cuenta las propiedades químicas (Tabla 3. 2); se clasificó como C1S1 (USDA, 1962). Se diseñó e instaló un sistema de riego por goteo para aplicar diariamente los tratamientos.

**Tabla 3.1** Propiedades químicas del sustrato utilizado en el ensayo

Propiedad	Unidad	Valor	Propiedad	unidad	Valor
<b>pH</b>	1:1, P/V	7,02	<b>Mg</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	3,1
<b>MO</b>	%	1,93	<b>Na</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	0,31
<b>C.I.C</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	24,5	<b>Cu</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,1
<b>P</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	95,8	<b>Fe</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,1
<b>S</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	13,3	<b>Zn</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,2
<b>K</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	0,41	<b>Mn</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	7,2
<b>Ca</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	20,7	<b>B</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,33

MO: materia orgánica; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico,

**Tabla 3.2** Propiedades químicas del agua del ensayo.

Propiedad	Unidad	Valor
<b>pH</b>	-	6,36
<b>CE</b>	dS.m <sup>-1</sup>	0,58
<b>Ca</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	4,10
<b>Mg</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	1,21
<b>Na</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	1,08
<b>K</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	0,16
<b>Cl</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	0,30
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	2,68
<b>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	0
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	3,57

CE: Conductividad eléctrica.

**3.2.3 Población y muestra.** El ensayo constó de una población de 800 plantas de Aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana (criollo), de las cuales se tomó una muestra para análisis destructivo de 288 plantas útiles, sobre las que se realizaron las respectivas mediciones y análisis.

**3.2.4 Tipo de investigación.** Se realizó una investigación experimental donde se compararon cuatro dosis de agua para aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana (criollo), en etapa de vivero.

**3.2.5 Diseño Experimental.** El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos, bajo sistema de riego por goteo y 4 repeticiones, para un total de 16 unidades experimentales, durante un periodo de 90 días después del trasplante. Cada unidad experimental contó con 50 plantas, distribuidas en cinco hileras separadas a 0,2 m, con una separación entre plantas también de 0,2 m, y separación entre tratamientos de 0,95m. El área total del experimento fue de 59 m<sup>2</sup>.

Los datos se tabularon en programa Microsoft Excel, versión 2016. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANAVA) y un análisis de comparación de medias de acuerdo al método estadístico de Tukey con significancia de 0,05, mediante el programa estadístico SAS versión 9.1.

**3.2.6 Cálculo de las dosis de agua.** Mediante la ecuación de uso consuntivo (UC) se estimó la dosis de agua de cada tratamiento. Este UC se deriva del producto del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) y la evapotranspiración de un cultivo de referencia bajo condiciones óptimas de humedad ( $ET_o$ ).

$$UC = K_c * ET_o \text{ (mm / día)}$$

Se empleó la ecuación Penman-Monteith modificado por la FAO para estimar la  $ET_o$ , considerado uno de los métodos más usados y confiables para hacer el cálculo de la evapotranspiración potencial (Palencia, Mercado y Combatt 2006). Para tal efecto se utilizó el software CROPWAT publicado por la FAO como manual No. 46 en la Serie Riego y Drenaje de 1992 (FAO, 1992), el cual es una herramienta útil para calcular la  $ET_o$  con el método Penman-Monteith, a partir de parámetros climáticos de la zona de estudio. En este sentido fue necesario solicitar el registro histórico de temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa media, velocidad del viento, horas de insolación y datos de radiación, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2016), Luego de correr los datos en el software, se obtuvieron los valores de  $ET_o$  de cada uno de los meses del año, del cual se seleccionó el mes de mayor  $ET_o$ , con el objetivo de tener la capacidad de regar en el mes más crítico (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3** Registros históricos de las medias mensuales de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa (%), brillo solar (h) y velocidad del viento (km/d), en un rango de años de 1985 a 2016. Estación meteorológica Primates del municipio de Colosó.

MESES	TEMPERATURAS MÁXIMAS (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	BRILLO SOLAR (h)	VELOCIDAD DEL VIENTO (km/d)
ENE	35,7	19	80	164,2	129,6
FEB	36,3	19,2	79	165,4	129,6
MAR	36,2	19,4	80	175,2	138,24
ABR	36,1	20,1	82	128,8	112,32
MAY	34,8	20	86	113,6	95,04
JUN	35,1	19,9	86	120,1	95,04
JUL	35,6	20,3	84	145,6	103,68
AGO	35,5	19,8	85	131,9	103,68
SEP	34,5	19,9	86	129,3	95,04
OCT	34	20,1	87	116,6	103,68
NOV	33,8	19,7	86	118	103,68
DIC	34,3	18,8	84	136,4	103,68

Fuente: IDEAM (2016).

Para el cálculo de las dosis de agua aplicadas en los tratamientos, se utilizó la máxima evapotranspiración presentada en el lugar de estudio, en este caso  $ET_o$ : 4,5 mm d<sup>-1</sup> (Tabla 3.4).

**Tabla 3.4** Tratamientos estimados a partir de la  $ET_o$ .

Tratamientos	$K_c$	$ET_o$ (mm.d <sup>-1</sup> )	UC (mm.d <sup>-1</sup> )	UC (L.planta <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )
T1	0,50	4,5	2,3	0,092
T2	0,80	4,5	3,6	0,144
T3	1,20	4,5	5,4	0,216
T4	1,50	4,5	6,8	0,270

Fuente: Autor

### 3.2.7 Variables e indicadores.

#### 3.2.7.1 Variables independientes.

- Dosis de agua aplicadas.
- Las condiciones ambientales de la zona de estudio.

### 3.2.7.2 Variables dependientes.

**3.2.7.2.1 Intercambio gaseoso.** Se utilizó un analizador de gases al infrarrojo (IRGA) modelo CIRAS-3 PP System, programado con una radiación fotosintéticamente activa (RFA) de 1000  $\mu\text{moles de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y concentración de 400 ppm de  $\text{CO}_2$  (Pérez y Campo, 2015). En cada tratamiento se tomó al azar una hoja activa y sana de la parte superior del dosel de plantas en competencia, tomando tres datos en promedio con el equipo IRGA por cada hoja, esta medición se realizó a los 90 días después de iniciados los tratamientos, en el horario de 08:00 a 11:00 am (Maldonado, 2012). Mediante las mediciones con el IRGA se determinaron las variables: Fotosíntesis ( $P_n$ ) ( $\mu\text{mol CO}_2\text{.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Conductancia Estomática ( $g_s$ ) ( $\mu\text{mol H}_2\text{O. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Déficit de Presión de Vapor (DVP) (kpa), Transpiración (E) ( $\text{mmolH}_2\text{O. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)( $P_n/g_s$ ).

## 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**3.3.1 Fotosíntesis neta ( $P_n$ ).** Los resultados muestran que la Fotosíntesis ( $P_n$ ) fue influenciada significativamente ( $p<0,01$ ) por las dosis de agua (Tabla 3.5).

En la figura (3.1a), se puede apreciar que este parámetro se incrementó con las dosis de riego hasta registrar una tasa aproximada  $31,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con una dosis promedio  $4,67 \text{ mm d}^{-1}$  a partir de la cual comenzó a decrecer, ajustándose a un modelo de regresión cuadrática ( $R^2=77,94\%$ ). En relación a este comportamiento Soto (2004), sostiene que en condiciones de exceso de humedad se ha demostrado que la fotosíntesis neta puede inhibirse, lo cual según Phang y Knipling (1976), está correlacionado con el cierre estomático y disminución de la absorción de  $\text{CO}_2$ . Por su parte Taiz y Zeiger (2010), afirman que cuando el suministro de agua es suficiente y la radiación incidente es la adecuada, se favorece la alta actividad fotosintética de la planta dado que se incrementa la demanda de  $\text{CO}_2$  dentro de la hoja.

Las comparaciones de media de Tukey entre el efecto de las cuatro dosis de agua sobre la variable  $P_n$ , arrojaron que la dosis  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$  presentó los valores medios más altos de  $P_n$  ( $31,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) los cuales a su vez son estadísticamente iguales a los conseguidos bajo la dosis  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$  (Tabla 3.6). Por otra parte los resultados mostraron que no existía diferencia estadística alguna entre aplicar la máxima dosis de agua y la mínima. En relación a esto, estudios hechos por Medina, Salazar, Ortiz, y Valdivia (2011) con plantas de aguacate, mostraron un incremento en la tasa de fotosíntesis neta en época de invierno de hasta  $30.05 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ , que se extendió hasta el final de esta época, posiblemente debido a la madurez de las hojas y a la emisión simultánea de un flujo vegetativo intenso. Contrario a los resultados obtenidos en el presente ensayo Whiley, Searle, Schaffer y Wolstenholme (1999) reportaron restricciones en el sistema radicular de plantas de aguacate que crecían en contenedores, reflejándose esta dificultad en bajas tasas de fotosíntesis.

En este sentido también resultados hallados por Gonçalves, Ferreyra, Silva, Endres, Barbosa y Duarte (2010), mostraron reducciones en la fotosíntesis y demás variables de intercambio gaseoso cuando aplicaron menores dosis de agua en plantas de caña de azúcar sometidas a deficiencia hídrica.

**3.3.2 Conductancia estomática ( $g_s$ ).** Se pudo observar en los resultados, que la Conductancia estomática ( $g_s$ ) respondió significativamente ( $p<0,01$ ) a los efectos de las dosis de agua (Tabla 3.5). La respuesta de la variable  $g_s$  fue similar al registrado por la variable  $P_n$ , pero en este caso el modelo ( $R^2=86,46\%$ ) señaló que la máxima respuesta de la  $g_s$  ( $42,08 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) se obtuvo con una dosis de riego aproximada de  $5,05 \text{ mm d}^{-1}$  (Figura 3.1b). La  $g_s$  guarda una estrecha relación con la  $P_n$ , ya que según Taiz y Zeiger (2010), cuando la disponibilidad de agua es suficiente, la apertura estomática es amplia decreciendo la resistencia estomática a la difusión de  $\text{CO}_2$ , lo que incide en una alta actividad fotosintética. Así mismo Davies y Flore, (1986), en estudios realizados en arándano Rabbitteye encontraron relación entre una baja conductividad estomatal con la tasa de intercambio de  $\text{CO}_2$  interno.

La Tabla 3.6 muestra las comparaciones de media de Tukey del efecto de las cuatro dosis de agua sobre la variable  $g_s$ , donde la dosis de agua  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$  arrojó los valores más altos de  $g_s$  ( $47,0 \mu\text{mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). De igual forma cabe anotar que los menores valores de  $g_s$  ( $11,50 \mu\text{mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), se obtuvieron con la dosis más baja de agua,  $2,3 \text{ mm d}^{-1}$ . Según Paiva, Fernandes, Rodríguez y Turco (2005), una de las principales limitantes de la fotosíntesis y por consiguiente del desarrollo de la planta, es la conductancia estomática, ya que es capaz de disminuir la tasa de crecimiento de la planta.

**3.3.3 Déficit de presión de vapor (DPV).** El DPV respondió significativamente ( $p<0,01$ ) a los efectos de las dosis de riego (Tabla 3.5), mostrando similar respuesta a las registradas por las variables  $P_n$  y  $g_s$  (Figura 3.1c), contrario a los resultados obtenido por Turner, Schulze y Gollan (1984), en cuya investigación encontraron que un aumento del DPV conllevó a la disminución de la conductancia estomática y la transpiración, resultando a su vez en bajas tasas fotosintéticas. El comportamiento de esta variable se ajustó a un modelo cuadrático Figura 3.1c ( $R^2=57,64\%$ ), donde el máximo DPV ( $5,29 \text{ mb}$ ) que experimentaron las hojas, se dio bajo la dosis  $5,29 \text{ mm d}^{-1}$ .

Las comparaciones de media de Tukey mostraron que la dosis de  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$  presentó el mayor valor medio de DPV ( $5,69 \text{ kpa}$ ), mientras que la dosis de  $2,3 \text{ mm d}^{-1}$  mostró los valores medios más bajos de DPV ( $3,87 \text{ kpa}$ ) (Tabla 3.6). Al respecto Azcón-Bieto y Talón (2008), sostienen que en condiciones ideales de humedad, la resistencia estomática disminuye, situación que expone los sitios de evaporación del mesófilo de la hoja a la atmosfera, incrementando el gradiente de presión de vapor, lo que ocasiona una mayor pérdida de agua por transpiración. No siempre el déficit de presión de vapor influye sobre a conductancia estomática ya que la apertura y cierre de los estomas depende de otros factores como luz, temperatura y la concentración intercelular de  $\text{CO}_2$ . Cuando la temperatura se eleva se genera un estímulo en la respiración celular, que trae consigo un incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$  entre las células que

integran el mesófilo. Bajo estas condiciones la bomba de protones no entra en funcionamiento, de tal modo que los estomas permanecen cerrados, evitando una pérdida excesiva de agua como consecuencia de una temperatura muy alta. Por su parte la luz, activa la fotosíntesis y de este modo provoca un aumento en el consumo de  $\text{CO}_2$ , que mediante la activación de la bomba de protones ocasionará la apertura de los estomas. En todo caso la luz y la concentración intercelular de  $\text{CO}_2$  juegan un papel importante en el control de la apertura de los estomas acorde con la necesidad fotosintética de  $\text{CO}_2$ .

**3.3.4 Transpiración (E).** En cuanto a la Transpiración (E), esta fue influenciada significativamente ( $p < 0,01$ ) por la dosis de riego (Tabla 3.5), mostrando similar respuesta a la registrada por la  $P_n$  y la  $g_s$  (Figura 3.1 d). La prueba de Tukey mostró que los valores más altos de E ( $1,32 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) se dieron con la dosis  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ , mientras que los menores valores se presentaron bajo la dosis de  $2,3 \text{ mm d}^{-1}$  (Tabla 3.6).

Por otra parte el modelo ( $R^2 = 76,36\%$ ) estimó que la máxima E fue de  $1,08 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  aproximadamente, la cual se obtuvo bajo la dosis promedio de riego  $5,07 \text{ mm d}^{-1}$  (Figura 3.1d). La  $g_s$  tiene un efecto directo sobre la tasa de transpiración, ya que el flujo de  $\text{CO}_2$  durante la fijación por rubisco, implica una pérdida sustancial de agua por transpiración (Azcón-Bieto y Talón, 2008). De igual manera a menor conductancia estomática disminuye la transpiración (Filgueiras, Soares, Beserra, Ferreira, Menezes, y Barbosa, 2015). En cuanto a la relación de DPV con la E, mayores valores de DPV generan una mayor intensidad de E (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Según Shaozhong, Binjie, Du y Jianhua (2003), las plantas presentan altas tasas de transpiración cuando se cuenta con disponibilidad de agua en el suelo, en contraste, en condiciones de baja disponibilidad, la transpiración se reduce debido al cierre estomático para economizar agua. Durante la investigación se observó que altas contenidos de humedad en el suelo influenciaron la conductancia estomática y por consiguiente la transpiración, evidenciándose en el comportamiento de ambas variables al aplicar una dosis de  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ . En este sentido también es importante anotar que con la máxima dosis aplicada  $6,8 \text{ mm d}^{-1}$  no se cumplió esta condición y la transpiración fué distinta respecto a la dosis intermedia, quizás como consecuencia de un posible límite con el exceso de humedad, el cual genera asfixia. Según Ferreyra, Sellés, Maldonado, Celedón, Barreras y Gil (2006), las raíces del aguacate son poco profundas, extensamente suberizadas, presentan una baja conductividad hidráulica, poseen una menor frecuencia de pelos radicales y son altamente sensibles a la falta de oxígeno, lo que genera una captación de agua relativamente pobre.

En la medida que la disponibilidad de agua del suelo disminuye (disminuye el potencial mátrico y la conductividad hidráulica del suelo), el flujo de agua hacia la planta es cada vez menor, llegando un momento en que la absorción no puede igualar a la transpiración, produciéndose un déficit hídrico en la planta, lo que induce un cierre estomático.



Por otra parte, los excesos de agua en el suelo provocan problemas de aireación, afectando el metabolismo radicular, lo que también afecta el desarrollo del cultivo en general (Bernal y Díaz, 2008).

**3.3.5 Eficiencia en el Uso del Agua (EUA).** La EUA respondió ( $p < 0,01$ ) a los efectos de las dosis de agua (Tabla 3.5). En la figura 3.1 e, se puede apreciar que la eficiencia en el uso del agua tiende a disminuir con el incremento de las dosis de agua. Esta respuesta fue explicada por un modelo de regresión cuadrática ( $R^2 = 96,63\%$ ), donde la EUA inicialmente disminuyó con el aumento de las dosis de agua, pero tiende a incrementarse a partir de la dosis  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$  (Figura 3.1 e). Las comparaciones de media de Tukey arrojaron los mayores valores de EUA cuando se aplicó la menor dosis, y a su vez presentó una tendencia a disminuir cuando se incrementaron las dosis de agua (Tabla 3.6).

Estos resultados sugieren que las plantas son más eficientes en el uso del agua conforme existe una menor disponibilidad de esta en el suelo; sin embargo, esta respuesta estuvo acompañada de una menor actividad fotosintética (Figura 3.1 a), lo cual concuerda con lo argumentado por Flexas, Niinemets, Gallé, Barbour, Centritto, Díaz, Douthe, Galmés, Ribas, Rodríguez, Rosselló, Soolanayakanahally, Tomas, Wright, Farquhar y Medrano (2013), quienes atribuyen el aumento de la eficiencia en el uso del agua a reducciones de la conductancia estomática y las tasas de fotosíntesis.

Según Azcón-Bieto y Talón (2008), los altos valores de EUA en dosis bajas de riego se explican por el cierre estomático; mientras que, con una mayor disponibilidad de agua, el DPV aumenta la transpiración sin aumento simultáneo de la fotosíntesis, lo cual conduce a una disminución de la EUA.

**Tabla 3.5** Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza de los parámetros de intercambio gaseoso: fotosíntesis neta ( $P_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), transpiración (E), déficit de presión de vapor (DPV) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana en función de las dosis de riego a los 90 DDT.

Fuente	gl	Cuadrados medios				
		$P_n$	$g_s$	E	DPV	EUA
Dosis de riego	3	34,08**	843,33**	0,82**	2,65**	5465,66**
Error	12	2,41	6,17	0,002	0,05	46,25
CV (%)	---	5,48	8,71	5,97	4,95	11,92

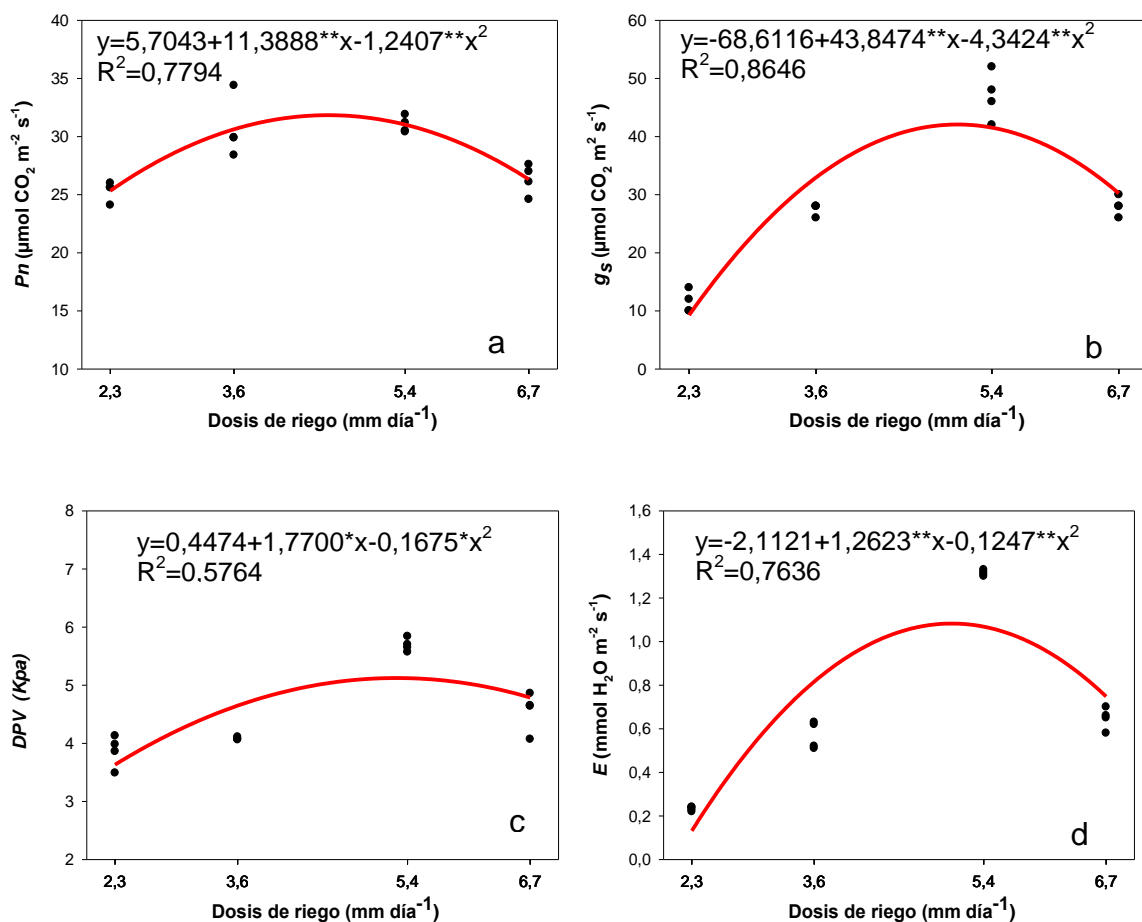
gl: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; \*\*: Diferencias significativas al 1%

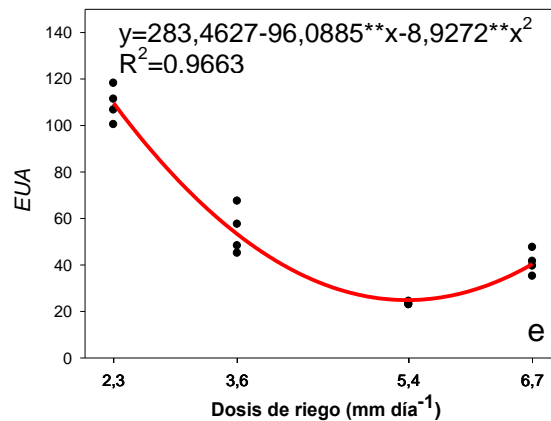
**Tabla 3.6** Comparaciones de media del efecto de cuatro dosis de agua sobre las variables fotosíntesis ( $P_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), déficit de presión de vapor (DPV), transpiración (E) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana a los 90 DDT.

Dosis de agua (mm d <sup>-1</sup> )	$P_n$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$g_s$ $\mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	DPV (kpa)	E $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	EUA
2,3	25,33 B	11,50 C	3,87 C	0,23 C	109,14 A
3,6	30,65 A	27,50 B	4,08 C	0,57 B	54,56 B
5,4	31,00 A	47,00 A	5,69 A	1,32 A	23,58 C
6,8	26,33 B	28,00 B	4,56 B	0,65 B	40,95 B

Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Figura 3.1** Respuesta de los parámetros de intercambio gaseoso en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de riego a los 90 DDT: a)  $P_n$ ; b)  $g_s$ ; c) DPV; d) E; y e) EUA.





\*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%;  $R^2$  = coeficiente de determinación.

### 3.4 CORRELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DE INTERCAMBIO GASEOSO Y LA BIOMASA.

La masa seca total (MSTL) se relacionó positivamente con la  $P_n$ ,  $g_s$ ,  $E$  y el DPV, siendo esta relación más fuerte con la  $P_n$  (Tabla 3.7). Sin embargo, la MSTL se relacionó negativamente con la EUA, lo cual indica que una mayor fijación de  $CO_2$  para la formación de biomasa requiere de un alto costo hídrico para la planta (Tabla 3.7). La relación de la biomasa con la  $P_n$ ,  $g_s$ ,  $E$  y el DPV, sugiere que las altas tasas de fijación fotosintética de  $CO_2$  fueron determinantes para una mayor producción de biomasa (Fernandes y De Souza, 2015). Así mismo, este proceso regulado por la conductancia estomática, estuvo acompañado también de un incremento del DPV, el cual influyó directamente sobre el aumento de la  $E$ .

Entre los parámetros de intercambio gaseoso, la  $P_n$  se relacionó positivamente con la  $g_s$  y la  $E$ ; a su vez la  $g_s$  se relacionó de forma positiva con la  $E$  y el DPV; y la  $E$  relacionó positivamente con el DPV. La  $P_n$ ,  $g_s$  y  $E$  se relacionaron negativamente con la EUA. Esta respuesta indica que las altas tasas fotosintéticas son favorecidas por una mayor difusión de  $CO_2$  a través de los estomas, lo cual implica altas pérdidas de agua por transpiración, ya que se incrementa el gradiente entre la cámara subestomática y la atmósfera. Si bien se incrementa la  $P_n$ , esta condición disminuye la eficiencia en el uso del agua, puesto que mientras los estomas fijan  $CO_2$ , también permiten la salida de agua en forma de vapor.

**Tabla 3.7** Matriz de correlación (r de Pearson) entre la masa seca total (MSTL) y los parámetros de intercambio gaseoso ( $P_n$ ,  $g_s$ , E, DPV y EUA) de las dosis de agua en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana a los 90 DDT.

	<b>MSTL</b>	<b><math>P_n</math></b>	<b><math>g_s</math></b>	<b>E</b>	<b>DPV</b>	<b>EUA</b>
<b>MSTL</b>	---	0,81**	0,62*	0,57*	0,47	-0,52*
<b><math>P_n</math></b>		---	0,66**	0,60*	0,47	-0,51*
<b><math>g_s</math></b>			---	0,97**	0,87**	-0,90**
<b>E</b>				---	0,93**	-0,87**
<b>DPV</b>					---	-0,76**
<b>EUA</b>						---

°: Diferencias significativas al 10%; \*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%.

### 3.5 CONCLUSIONES

- La tasa fotosintética se incrementó hasta un máximo con el aumento de la dosis de agua, pero con la dosis 6,8 mm d<sup>-1</sup> se presentó una disminución en esta variable, arrojando que no existía diferencia estadística entre aplicar la máxima y la mínima dosis de agua.
- La Conductancia estomática ( $g_s$ ) y Transpiración (E), tuvieron una respuesta similar a la actividad fotosintética, incrementándose en la medida que se aumentó la dosis de agua, por lo que se puede inferir que existe una relación entre estas variables, ya que cuando el agua fué suficiente, tanto la apertura estomática y la transpiración fueron más dinámicas, favoreciendo la difusión de CO<sub>2</sub> y por consiguiente incidiendo en una alta actividad fotosintética.
- El DPV creció con las dosis de agua, alcanzando su mayor valor con la dosis promedio 5,29 mm d<sup>-1</sup> sin que se viera afectada negativamente la conductancia estomática, la transpiración y fotosíntesis, constituyéndose en un factor de suma importancia para las plantas, ya que a través de la transpiración se genera una absorción y ascenso de agua, minerales y nutrientes a las hojas.
- Las plantas de aguacate *Persea americana* Miller Variedad Americana bajo las condiciones del ensayo, fueron más eficiente en cuanto a uso del agua (EUA), cuando hubo menor disponibilidad de la misma, pero fue también con la menor dosis de agua que se presentó la menor actividad fotosintética, lo cual puede estar asociado en este caso, con los menores valores de conductancia estomática presentados durante la aplicación de la menor dosis.
- Existe una relación directa entre la masa seca total (MSTL) y las variables de intercambio gaseoso (Pn,  $g_s$ , E y DPV), siendo más marcada dicha relación con la Pn.
- La MSTL se relacionó negativamente con la EUA, lo cual indica que una mayor fijación de CO<sub>2</sub> para la formación de biomasa, requiere de un alto costo hídrico para la planta.

### 3.6 LITERATURA CITADA

- Azcón-Bieto, J y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2da Edición, McGraw-Hill, 31-44. Barcelona. España. Recuperado el 20 de mayo de 2020 de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Anguiano, C., Alcántar, J., Toledo. B., Tapia, L., y Vidales, J. (2007). *Caracterización edafoclimática del área productora de aguacate de Michoacán, México*. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Michoacán, México.  
Recuperado de <https://docplayer.es/50770030-Caracterizacion-edafoclimatica-del-area-productora-de-aguacate-de-michoacan-mexico.html>
- Barbosa, R. (2013). *Manejo hídrico sobre o desenvolvimento e a qualidade de mudas florestais nativas em ambientes protegidos*. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu. 119f. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11449/99781>
- Bernal, J y Díaz, C. (2008). *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Manual Técnico 5. Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia, Colombia.
- Cuevas, E. (2001). *Estudio de mecanismos de adaptación ecofisiológica de la vid (Vitis vinifera L. cv. Tempranillo) al déficit hídrico, evaluación del consumo de agua y de las respuestas agronómicas en diferentes regímenes hídricos*. Tesis de doctoral, Universidad Politécnica De Madrid, España. Recuperado el 20 de mayo de 2020 desde <http://oa.upm.es/651/>
- Davies, F y Flore, J. (1986). Flooding, gas exchange and hydraulic conductivity of highbush blueberry. *Physiologia Plantarum*, 67 (4), 545-551. Recuperado el 20 de mayo de 2020 desde <https://gsajournals.org/articles/000/001/000001641-flooding-gas-exchange-and-hydraulic-root-conductivity-of-highbush-blueberry.php>
- Ferreira, R. (2017). *Manejo de agua y suelo en aguacate y su influencia sobre la pudrición de raíces*. V Congreso latinoamericano del aguacate. Instituto de investigaciones agropecuarias. Jalisco, México. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias\\_VCLA/2017/Memorias\\_VCLA\\_2017\\_PG\\_266.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_266.pdf)

- Filgueiras, A., Soares, A., Beserra, L., Ferreira, A., Menezes, I., y Barbosa, M. (2015). Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de 68 feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*. 10(2), 189-197. Recuperado el 20 de mayo de 2020 en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1190/119039562004>
- Fernandes, N y De Souza, M. (2015). *Fisiologia da producao*. MG: Ed UFV, 53-115. Viçosa. Brasil.
- Flexas, J., Niinemets, Ü., Gallé, A., Barbour, M., Centritto, M., Diaz, A., Douthe, C., Galmés, J., Ribas, M., Rodriguez, P., Rosselló, F., Soolanayakanahally, R., Tomas, M., Wright, I., Farquhar, G., y Medrano, H. (2013). Diffusional conductances to CO<sub>2</sub> as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. *Photosynthesis Research* 117, 45–59. DOI: 10.1007/s11120-013-9844-z
- Ferreira, R y Sellés, G. (2007). *Manejo del riego y suelo en palto*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA N° 160, 120. La Cruz, Chile. Recuperado de [http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/10514/1/INIA\\_B0160.pdf](http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/10514/1/INIA_B0160.pdf)
- Ferreira, R., Sellés, G., Maldonado, P., Celedón, J., Barreras, C., y Gil, P. (2006). *La asfixia radicular y el manejo del riego en palto*. Seminario Internacional manejo del riego y suelo en el cultivo del palto. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La Cruz. Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/Journals/INIA/INIA\\_Palta\\_FERREYRA\\_PAPER.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/INIA/INIA_Palta_FERREYRA_PAPER.pdf)
- FAO. (1992). CROPWAT a computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 26,126. Roma.
- García, J y Moreno, L. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, 65 (1), 44-50. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n1.48161>
- Gonçalves, E., Ferreira, V., Silva, J., Endres, L., Barbosa, T., y Duarte, W. (2010). Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(4), 378–386. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000400006>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2016). Datos hidrológicos, meteorológicos o ambientales en series históricas. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co>.

- Lahav, E. y Kalmar D. (1983). Determination of the irrigation regimen for an avocado plantation in spring and autumn. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34, 717- 724.
- Maldonado, B. (2012). *Intercambio gaseoso y contenido de azúcares en raíces de los genotipos de yuca TMS60444 Y CAGBS1A8-3A crecidos bajo condiciones de campo*. Tesis de maestría, programa de maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Medina, R., Salazar, S., Ortiz, M., y Valdivia, R. (2011). Variación estacional de la fotosíntesis en varios cultivares de Aguacate. *Revista Biociencias*. 1, 36-45. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/280156384\\_Variacion\\_estacional\\_de\\_la\\_fotosintesis\\_en\\_varios\\_cultivares\\_de\\_aguacate](https://www.researchgate.net/publication/280156384_Variacion_estacional_de_la_fotosintesis_en_varios_cultivares_de_aguacate)
- Pérez, D., Campo, R., y Jarma, A. (2015). Respuesta fisiológica del ñame espino (*Dioscorea Rotundata* Poir) a las densidades de siembra, *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 104-112.
- Palencia, G., Mercado, T., y Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/333356934\\_Estudio\\_Agroclimatico\\_del\\_Departamento\\_de\\_Cordoba/link/5ce851bd458515712ebfc074/download](https://www.researchgate.net/publication/333356934_Estudio_Agroclimatico_del_Departamento_de_Cordoba/link/5ce851bd458515712ebfc074/download)
- Paiva, A., Fernandes, E., Rodrigues, T., y Turco, J. (2005). Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetidos a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, 25 (1), 161-169. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100018>
- Phang, H y Knipling, E. (1976). Photosynthetic and transpiration of citrus seedling under flooded conditions, *HortScience*, 11, 131-133.
- Silber, A., Israeli, Y., Levi, M., Keinan, A., Shapira, O., Chudi, G., Golan, A., Noy, M., Levkovitch, I., y Assouline, S. (2012). Response of ‘Hass’ avocado trees to irrigation management and root constraint. *Agricultural Water Management*, 104, 95-103. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.003>
- Singh, S y Reddy, K. (2011). Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna Unguiculata* L Walp) Under Drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*, 105(1), 40-50. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.07.001>
- Soto, C. (2004). *Evaluación de porta injertos de palto de raza Antillana, Mexicana y Guatemalteca bajo condiciones de estrés por hipoxia*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile. Recuperado de



[http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/S-T-U/SotoClaudia2004.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S-T-U/SotoClaudia2004.pdf)

- Shaozhong, K., Binjie, G., Du, T., y Jianhua, Z. (2003). Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semihumid region. *Agricultural Water Management*, 59, (03), 239-254. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00150-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00150-6)
- Taiz, L y Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. Fifth Edition, Sunderland, Massachusetts, USA. Sinauer Associates.
- Torrán, E. (2007). *Impacto De Las Plantaciones De Eucalyptus Grandis Sobre El Contenido De Humedad Del Suelo, Análisis De Un Caso En El Noreste De La Provincia De Entre ríos*. Tesis de Maestría, programa de maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay.
- Turner, N., Schulze E y Gollan, T. (1984). The response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. *Oecologia* 65, 348-355. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/BF00378908>
- Departamento De Agricultura De Los Estados Unidos (USDA). (1962). *Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego*. (U.S. Soil Salinity Laboratory). (Lab. de suelos IRYDA, 1973).
- Whiley, A., Searle, C., Schaffer, B., y Wolstenholme, B. (1999). Cool orchard temperature or growing trees in containers can inhibit leaf gas exchange of avocado and mango. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(1), 46-51.
- Wolstenholme, B. (1986). Energy costs of fruiting as a yield limiting factor. *Acta Horticulturae*, 175, 121-126. Recuperado de <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1986.175.18>
- Weather Spark: Clima promedio en Toluviéjo, Colombia [Internet]. Recuperado el 02 de Enero de 2020 de <https://es.weatherspark.com/y/22579/Clima-promedio-en-Toluviéjo-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>

## DISCUSIÓN GENERAL

En relación a las variables de crecimiento, estas tendieron a responder a las dosis de agua durante toda la etapa de vivero, a excepción del AF que respondió a partir de los 45DDT. Para el caso específico de la Altura de planta (AP), esta se ajustó a un modelo cuadrático en el que se evidenció una tendencia a incrementarse hasta alcanzar los 60 DDT, desde donde comenzó a decrecer con las dosis 2,3 y 6,8 mm d<sup>-1</sup>. De igual forma también se evidenció que esta variable aumentó linealmente durante los primeros 15 DDT con la dosis de agua, pero fue entre los 60DDT y 90 DDT donde esta variable registró un máximo, con una dosis promedio de 4,76 mm d<sup>-1</sup> la cual está comprendida entre los UC 3,6 mm d<sup>-1</sup> y 5,4 mm d<sup>-1</sup> correspondientes a los K<sub>c</sub> 0,8 y 1,2 respectivamente, siendo estos coeficientes de cultivo muy parecidos a los utilizados por Ferreyra y Selles en trabajos (no publicados) entre los años 2010 y 2012 y Faber et al. (1995) quienes con K<sub>c</sub>: 0,70 alcanzaron mejores rendimientos, y por el contrario con K<sub>c</sub>: 1,1, los rendimientos cayeron en un 50%, probablemente por problemas de aireación; concordando en cierta medida con los resultados del ensayo en los que la dosis de agua más baja y más alta arrojaron las menores tasas de AP.

En este sentido también Torres (2015), en un ensayo donde evaluó distintos niveles de humedad, encontró que los tratamientos que mostraron los mejores niveles de AP y DBT fueron los que manejaron 60% de agua y 40% de aire en un sustrato arenoso; de ahí la importancia de mantener una buena relación planta, sustrato, agua, aire, de tal modo que no se vea afectado el sistema radicular por asfixia y pueda provocarse una alteración fisiológica de la planta, que se traducirá al final, en pobreza foliar y bajo desarrollo de la misma. Ensayos como el de Torres (1996), arrojaron resultados parecidos a los del presente ensayo, ya que patrones de aguacate cv Mexicola sometidos a coeficientes de cultivo de 0,6 a 1,4 de la evaporación de bandeja (dispuesta dentro del invernadero), evidenciaron un crecimiento gradual respecto a la AP y el diámetro de injertación. Por otro lado, en cuanto al efecto evidenciado con las dosis de agua aplicadas durante el ensayo, se coincide en parte con Cosío (1997), cuando afirma que existe un efecto de la tasa de riego sobre el crecimiento de las plantas, pero difiere con los reportes de mayor crecimiento con tasas de riego comprendidas entre 180% - 220% de la evaporación de bandeja (K<sub>c</sub>: 1,8 y 2,2).

El área foliar (AF) igualmente mostró una tendencia a incrementarse hasta los 60 DDT, a partir de la cual comenzó a disminuir la tasa de desarrollo de esta variable, exceptuando la dosis 2,3 mm d<sup>-1</sup> que mostró un desarrollo de AF creciente. El modelo que más se ajustó al comportamiento de esta variable respecto a las dosis de agua fue una función cuadrática, con excepción de la dosis 2,3 mm d<sup>-1</sup> cuyo comportamiento fue lineal. De igual forma es importante anotar que entre los 45 y 90 días el AF también se explicó por un modelo cuadrático, donde este parámetro mostró un máximo con una dosis promedio 4,91 mm d<sup>-1</sup>. En este orden de ideas Cairo (1995), en ensayo con especies forestales concluyó que el área foliar era fuertemente influenciada por la

disponibilidad de agua en el suelo. Esto explicaría en parte por qué la variable área foliar en este ensayo se desarrolló en promedio hasta una dosis de riego de 4,91 mm d<sup>-1</sup> y luego decreció con la dosis más alta.

Es importante anotar que si bien con la dosis 2,3 mm d<sup>-1</sup> el AF fue creciente a lo largo de la fase de vivero, también es claro que mostró junto con la dosis 6,8 mm d<sup>-1</sup> las tasas de crecimiento de AF más bajas, es decir, que las plantas tratadas con la dosis mínima y máxima mostraron un bajo desarrollo de AF asociado con la poca agua recibida y la excasa aireación en zonas cercanas al sistema radicular, coincidiendo con los resultados obtenidos por Collao (1998), donde con un K<sub>c</sub>: 0.5 las plantas no tuvieron un desarrollo normal, hasta el punto de morir antes que finalizara el ensayo, y con lo expresado por Schaffer et al. (1992), quienes sostienen que una poca difusión del oxígeno a nivel de raíces por exceso de humedad, se ve reflejado en una inhibición de la expansión foliar, moderada a severa. Los resultados evidenciados en área foliar con la dosis más elevada pueden estar relacionados con una alteración del proceso de absorción y transporte de agua y sales minerales. En este sentido Neuman (1993), sostiene que el desarrollo foliar puede verse afectado bajo condiciones de exceso de agua como consecuencia de una alteración en la toma y transporte de la misma, afectando de este modo la turgencia celular que es uno de los factores determinantes en la tasa de expansión celular y por consiguiente, del desarrollo del área foliar.

Por otra parte los resultados encontrados evidenciaron que el DBT bajo las dosis 3,6 y 6,8 mm d<sup>-1</sup> tuvo un crecimiento lineal hasta los 90 DDT, mientras que con los tratamientos 2,3 y 5,4 mm d<sup>-1</sup> mostró una tendencia a incrementarse hasta los 60 DDT, desde donde disminuyeron las tasas de DBT, ajustándose a un modelo cuadrático. Además el máximo crecimiento de esta variable se alcanzó con una dosis promedio de 4,68 mm d<sup>-1</sup> ajustándose a un modelo cuadrático. Al respecto Núñez, Schaffer, Fisher, Colls y Crane (1999) y Mielke, Matos, Couto, De Almeida, Gomes y Mangabeira (2005), evidenciaron un mayor DBT en plantas de *Annona glabra* sometidas a más de 10 días de anegamiento, respecto a las del tratamiento control (no anegadas), de igual forma Cardona, Bautista, Florez y Fischer (2016), reportaron en plantas de lulo sometidas a anegamiento por 6 y 9 días, DBT más gruesos en comparación con los DBT de plantas de control que solo estuvieron anegadas por 3 días. Aunque en estos casos no se manejaron los mismos cultivos, ni tampoco fueron definidas unas dosis de agua específica, es claro que también hubo un efecto directo de la humedad sobre el DBT, así como también es claro, que no manejar una dosis adecuada de agua, puede causar afectaciones en los tejidos vegetales, evidenciados en una disminución de las tasas de crecimiento del tronco, el cual es una de las primeras respuestas de los frutales al estrés hídrico (Díaz, Torrecillas y Rodriguez, 2015).

En lo referente a NH, esta variable se ajustó a un comportamiento cuadrático, con excepción de la dosis 3,6 mm día<sup>-1</sup> que se ajustó a una función lineal. El máximo NH obtenido con las dosis 2,3 y 5,4 mm d<sup>-1</sup> se desarrolló después de los 60 DDT, mientras que para la dosis de 3,6 mm d<sup>-1</sup> este se registró entre los 60 y 90 DDT. El parámetro NH se incrementó linealmente a los 30 DDT, mientras que para los 15, 60, 75 y 90 DDT, el NH mostró su máxima respuesta con una dosis media de agua de 4,62 mm d<sup>-1</sup>,

a partir de la cual inició un decrecimiento la tasa de emisión de hojas, evidenciando un efecto adverso por posibles restricciones generadas a nivel de raíz y reflejadas en la tasa desarrollo del NH, que según Schaffer y Whiley (2002), obedecen a excesos de agua que terminan afectando el crecimiento de raíz, brotes y expansión de hojas de las plantas. Autores como Yetisir, Caliskan, Soyly y Sakar (2006), creen que estas alteraciones en las tasas de crecimiento y productividad de estos cultivos, obedece a la dinámica de los gases en el agua, la cual es más lenta, causando la deficiencia de oxígeno, que es un elemento vital para la supervivencia de plantas como el aguacate y de los microorganismos que habitan en el suelo. Los modelos cuadráticos a los que se ajustó la variable NH, establecen también un límite bajo la dosis promedio de agua ( $4,62 \text{ mm d}^{-1}$ ), puesto que con dosis superiores a esta, la tasa de NH decreció, viéndose afectada por los niveles de humedad que implicaron las dosis mayores y que puede estar asociado, con el ineficiente sistema de transporte de agua que posee el aguacate, y las afectaciones del potencial hídrico en las hojas a medida que la tasa de transpiración aumentaba durante el transcurso del día, generando un déficit, aunque el agua en el sustrato no estuviera limitada (Bozzolo, 1993).

Las variables de acumulación y distribución de biomasa evidenciaron un efecto de las dosis de agua sobre cada una de las variables durante la etapa de vivero. La MSR, MST, MSH y MSTL en términos generales bajo las distintas dosis de agua mostraron un desarrollo lineal durante todo el ensayo, con excepciones de las dosis  $2,3 \text{ mm d}^{-1}$  para MST y la dosis  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$  para MSTL ajustadas a un modelo cuadrático. De igual forma estas variables se incrementaron hasta alcanzar un máximo con dosis promedios de agua ( $4,32 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $4,70 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $4,62 \text{ mm d}^{-1}$  y  $4,57 \text{ mm.d}^{-1}$ ) que se ajustaron también a modelos cuadráticos. Los resultados obtenidos difieren con lo hallado por Cusió (1997), quien no encontró diferencias estadísticas en MSR aplicando diferentes tratamientos correspondientes a  $K_c$ : 1,0;  $K_c$ : 1,4;  $K_c$ : 1, 6;  $K_c$ : 1,8 y  $K_c$ : 2,2.

Para todas las variables de acumulación de biomasa los tratamientos que mostraron las tasas más altas de estas variables, fueron  $3, 6 \text{ mm d}^{-1}$  y  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ , pero como se dijo anteriormente los modelos a los que se ajustaron las variables mostraron su máximo desarrollo con dosis promedios que posiblemente establecen un límite, en el que se puede estar indicando, hasta dónde las plantas están en condiciones de asimilar las dosis de agua y a su vez alcanzar los niveles más altos de biomasa. Las dosis de agua por encima de estos promedios probablemente no fueron aprovechadas en su totalidad, quizás por un posible estrés por aireación, como fue el caso de la dosis máxima; de igual forma los resultados evidenciados con la dosis mínima mostraron también niveles de biomasa bajos, quizás obedeciendo a un posible déficit hídrico. Al respecto Steduto et al. (2012), sostienen que un exceso de humedad puede afectar las relaciones hídricas en plantas de aguacate y con ello el funcionamiento general; bajos niveles de oxígenos en el suelo reducen el crecimiento radicular y con humedades prolongadas se puede causar necrosis a nivel radicular, que a su vez se puede reflejar una abscisión foliar. De igual forma la disminución en los procesos de asimilación primaria, puede causar estrés a la planta reduciendo el crecimiento a nivel general (Taiz y Zeiger, 1998).

En este sentido es importante resaltar, que de acuerdo a los modelos cuadráticos a los que se ajustó la MSTL con las dosis de agua, el punto máximo de MSTL se dio entre los 75 y 90 DDT, siendo este punto de inflexión un indicador del momento óptimo para las plantas para ser llevadas a campo, tal como lo sostienen Morales et al. (1998), al considerar el agua como clave en el endurecimiento o preparación de la planta a las condiciones de terreno. Por su parte Wencomo y Ortiz (2010), en estudios con *Leucaena* spp, definieron el momento óptimo de trasplante, en base a indicadores de acumulación de biomasa como masa seca de raíz, longitud de raíz, biomasa seca de la parte aérea y número de brotes foliares.

En lo que se refiere a las variables de intercambio gaseoso, estas fueron influenciadas significativamente ( $p < 0,01$ ) por las dosis de agua. La  $P_n$  fue creciente con la dosis de agua hasta registrar una tasa aproximada de  $31,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con una dosis de agua promedio de  $4,67 \text{ mm d}^{-1}$  desde donde comenzó a decrecer, ajustándose a un modelo cuadrático. Lo anterior halla explicación en lo expresado por Taiz y Zeiger (2010), cuando afirman que un suficiente suministro de agua y adecuada radiación incidente, favorecen la alta actividad fotosintética de la planta, dado que se incrementa la demanda de  $\text{CO}_2$  dentro de la hoja. Por otra parte en lo referente a los menores valores de  $P_n$  con la dosis más alta de agua, Soto (2004), sostiene que en condiciones de exceso de humedad se ha demostrado que la fotosíntesis neta puede inhibirse, lo cual según Phang y Knipling (1976), está correlacionado con el cierre estomático y disminución de la absorción de  $\text{CO}_2$ .

En este mismo orden de ideas la  $g_s$  mostró un comportamiento similar a la  $P_n$ , y se ajustó a un modelo cuadrático que mostró una máxima respuesta de  $42,08 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , con una dosis de riego aproximada de  $5,05 \text{ mm d}^{-1}$ . La estrecha relación entre ambas variables encuentra explicación en la disponibilidad de agua suficiente, la cual propicia una amplia apertura estomática haciendo que decrezca la resistencia estomática a la difusión de  $\text{CO}_2$  y por consiguiente incrementa la actividad fotosintética (Azcón-Bieto y Talón, 2013). De igual forma Davies y Flore (1986), en estudios realizados en *arándano Rabbiteye* encontraron relación entre una baja conductancia estomática con la tasa de intercambio de  $\text{CO}_2$  interno.

Por su parte el DPV y la E respondieron de forma similar a la  $P_n$  y  $g_s$ , y al igual que las anteriores variables su comportamiento se ajustó a un modelo cuadrático donde los máximos valores de DPV ( $5,29 \text{ mb}$ ) y E ( $1,08 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), se obtuvieron con las dosis promedio  $5,29 \text{ mm d}^{-1}$  y  $5,07 \text{ mm d}^{-1}$  respectivamente. Los resultados obtenidos en esta investigación y la relación entre estas dos variables, es ratificada en parte por Azcón-Bieto y Talón (2013), cuando sostienen que un aumento en DPV de la atmósfera (disminución de la humedad relativa) eleva la transpiración sin un incremento simultáneo en la fotosíntesis, contrario a lo reportado por Turner et al. (1984), los cuales encontraron que un aumento del DPV conllevó a una disminución de la  $g_s$  y E, trayendo consigo bajas tasas de  $P_n$ . Cabe recordar también que en condiciones ideales de humedad, la resistencia estomática disminuye, situación que expone los sitios de evaporación del mesófilo de la hoja a la atmosfera, incrementando el gradiente de presión de vapor, lo que ocasiona una mayor pérdida de agua por transpiración (Azcón-

Bieto y Talón, 2008). Según Shaozhong et al. (2003), las plantas presentan altas tasas de transpiración cuando hay buena disponibilidad de agua en el suelo, en contraste, en condiciones de baja disponibilidad, la transpiración se reduce debido al cierre estomático para economizar agua.

Las tasas más altas de  $P_n$ ,  $g_s$ , DPV y E, se dieron con la dosis 5,4 mm d<sup>-1</sup>, por su parte, las menores tasas se obtuvieron con la dosis 2,3 mm d<sup>-1</sup>. Si se analizan los modelos a los que se ajustaron cada una de las variables de intercambio gaseoso, y las dosis aproximadas con las que se obtuvieron los mayores valores de cada una de estas, se puede observar que se mantuvieron en un rango de 4,67 mm d<sup>-1</sup> a 5,29 mm d<sup>-1</sup>, lo cual muestra que son dosis de agua muy cercanas a la dosis 5,4 mm d<sup>-1</sup>, lo que puede indicar que quizás, esta fue la dosis con la que las plantas lograron manifestar su mayor capacidad fotosintética sin someter a las plantas a estrés por exceso o por déficit hídrico.

En este sentido también es importante anotar que con la máxima dosis aplicada 6.8 mm d<sup>-1</sup> no se obtuvieron las mayores tasas y la transpiración fué distinta respecto a la dosis intermedia, quizás como consecuencia de un posible límite con el exceso de humedad, el cual genera asfixia a nivel radicular. Según Ferreyra et al. (2006), las raíces de las plantas aguacate son poco profundas, extensamente suberizadas, presentan una baja conductividad hidráulica, poseen una menor frecuencia de pelos radicales y son altamente sensibles a la falta de oxígeno, lo que genera una captación de agua relativamente pobre. En la medida que la disponibilidad de agua del suelo disminuye (disminuye el potencial mátrico y la conductividad hidráulica del suelo), el flujo de agua hacia la planta es cada vez menor, llegando un momento en que la absorción no puede igualar a la transpiración, produciendo un déficit hídrico en la planta, lo que induce un cierre estomático. Por otra parte, los excesos de agua en el suelo provocan problemas de aireación, afectando el metabolismo radicular, lo que también afecta el desarrollo del cultivo en general (Bernal y Díaz, 2008).

En cuanto a la EUA, esta mostró una tendencia a disminuir en la medida que se incrementaban las dosis de agua, su respuesta se ajustó a un modelo de regresión cuadrática, donde inicialmente la EUA decreció con el incremento de las dosis de agua, pero luego de la dosis 5,4 mm d<sup>-1</sup> tendió a incrementarse. Estos resultados sugieren que las plantas son más eficientes en el uso del agua conforme existe una menor disponibilidad de esta en el suelo, sin embargo, esta respuesta estuvo acompañada de una menor actividad fotosintética. Según Flexas et al. (2013), el aumento en la EUA, obedece a una reducción de la conductancia estomática y las tasas de fotosíntesis.

Por su parte, según Azcón-Bieto y Talón (2013), cuando se cuenta con abundante agua, los estomas pueden jugar un papel importante en la regulación térmica, en la que la necesidad de obtener CO<sub>2</sub> entra en conflicto directamente con la necesidad de conservar el agua. Los altos valores de EUA en dosis bajas de riego se explican por el cierre estomático, mientras que con una mayor disponibilidad de agua, el DPV aumenta la transpiración sin aumento simultáneo de la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, lo cual conduce a una disminución de la EUA.

Un déficit hídrico, provoca un cierre estomático que aumentará la EUA, sin embargo, un incremento simultáneo en la resistencia interna a la absorción de  $\text{CO}_2$  puede impedir tal aumento y, por tanto, hacer que el déficit hídrico afecte muy poco o casi nada a la eficiencia transpiratoria (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

Es importante resaltar la correlación que existió entre los parámetros de intercambio gaseoso y la biomasa, donde la MSTL mostró una relación positiva con cada una de las variables de intercambio gaseoso evaluadas en el ensayo ( $P_n$ , la  $g_s$ , la E, el DPV), y en la que la relación más marcada se dió con la  $P_n$ , aunque la MSTL se relacionó negativamente con la EUA, dando a entender, que una mayor fijación de  $\text{CO}_2$  para la formación de biomasa necesita de un alto costo hídrico para la planta. La relación de la biomasa con la  $P_n$ , la  $g_s$ , la E y el DPV, sugiere que las altas tasas de fijación fotosintética de  $\text{CO}_2$  son determinantes para una mayor producción de biomasa (Fernandes y De Souza, 2015). De igual forma este proceso regulado por la conductancia estomática, estuvo acompañado también de un incremento del DPV, el cual influyó directamente sobre el aumento de la E.

Entre los parámetros de intercambio gaseoso, la  $P_n$  se relacionó positivamente con la  $g_s$  y la E; a su vez la  $g_s$  se relacionó de forma positiva con la E y el DPV; y la E se relacionó positivamente con el DPV. La  $P_n$ , la  $g_s$  y la E se relacionaron negativamente con la EUA. Esta respuesta indica que las altas tasas fotosintéticas son favorecidas por una mayor difusión de  $\text{CO}_2$  a través de los estomas, lo cual implica altas pérdidas de agua por transpiración, ya que se incrementa el gradiente entre la cámara subestomática y la atmosfera. Si bien se incrementa la  $P_n$ , esta condición disminuye la EUA, puesto que mientras los estomas fijan  $\text{CO}_2$ , también permiten la salida de agua en forma de vapor.

## LITERATURA CITADA

- Azcón-Bieto, J y Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2da Edición, McGraw-Hill, 44-46. Madrid. España. Recuperado el 20 de mayo de 2020 de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetaI2008Azcon..pdf>
- Azcón-Bieto, J y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2da Edición, McGraw-Hill, 31-44. Barcelona. España. Recuperado el 20 de mayo de 2020 de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetaI2008Azcon..pdf>
- Bernal, J y Díaz, C. (2008). *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia, Colombia. Manual Técnico 5.
- Bozzolo, E. (1993). *Aproximación a la determinación de los coeficientes de cultivo (Kc) en palto (Persea americana Mill.) cv. Hass para la zona de Quillota*. V Región. Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/A-B-C/BozzoloEduardo1993.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/A-B-C/BozzoloEduardo1993.pdf)
- Cardona, W., Bautista, L., Florez, N., y Fischer, G. (2016). Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) en respuesta al sombrío y anegamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10 (1), 53-65. Doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5124>
- Collao, Y. (1998). *Estimación de los requerimientos hídricos en vivero de paltos injertados (Persea americana Mill.) Cv, Hass*. Universidad Católica De Valparaíso Facultad De Agronomía. Área De Fruticultura. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/A-B-C/CollaoYarela1998.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/A-B-C/CollaoYarela1998.pdf)
- Cosío, C. (1997). *Aproximación de los requerimientos hídricos de portainjertos de palto (Persea americana Mill.) cv. Mexícola*. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/A-B-C/CosioCristian1997.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/A-B-C/CosioCristian1997.pdf)
- Cairo, P. (1995). *Curso Básico De Relações Hídricas De Plantas*. UESB. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Brasil.



- Díaz, Y., Torrecillas, A., y Rodríguez, P. (2015). Fluctuaciones del diámetro del tronco como indicador de estrés en frutales y su uso en el manejo del riego. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 59-66. Recuperado en 22 de mayo de 2020, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362015000500006&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500006&lng=es&tlng=es).
- Davies, F y Flore, J. (1986). Flooding, gas exchange and hydraulic conductivity of highbush blueberry. *Physiologia Plantarum*, 67 (4), 545-551. Recuperado el 20 de mayo de 2020 desde <https://gsajournals.org/articles/000/001/000001641-flooding-gas-exchange-and-hydraulic-root-conductivity-of-highbush-blueberry.php>
- Flexas, J., Niinemets, Ü., Gallé, A., Barbour, M., Centritto, M., Diaz, A., Douthe, C., Galmés, J., Ribas, M., Rodríguez, P., Rosselló, F., Soolanayakanahally, R., Tomas, M., Wright, I., Farquhar, G., y Medrano, H. (2013). Diffusional conductances to CO<sub>2</sub> as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. *Photosynthesis Research* 117, 45–59. DOI: 10.1007/s11120-013-9844-z
- Ferreira, R., Sellés, G., Maldonado, P., Celedón, J., Barreras, C., y Gil, P. (2006). *La asfixia radicular y el manejo del riego en palto. Seminario Internacional manejo del riego y suelo en el cultivo del palto*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La Cruz. Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/Journals/INIA/INIA\\_Palta\\_FERREYRA\\_PAPER.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/INIA/INIA_Palta_FERREYRA_PAPER.pdf)
- Faber, B., Arpaia, M., y Yates, M. (1995) *Irrigation management of avocado in a California coastal environment*. Ponencia presentada en: World Avocado Congress III. Israel. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/IRRIGATION-MANAGEMENT-OF-AVOCADO-IN-A-CALIFORNIA-Faber-Arpaia/04f4c6abf3bc56d61a5927fb61a4a02018012e98#citing-papers>
- Mielke, M., Matos, E., Couto, V., De Almeida, A., Gomes, F., y Mangabeira, P. (2005). Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. *Acta Botanica Brasilica*, 19, 905-911. Doi: 10.1590/S0102-33062005000400025
- Morales, R., Alzugaray, O., Avaria, P., Díaz, A., Gallardo, P., y De Lourdes, P. (1998). *Técnicas para producir plantas forestales en Aysén*. INFOR (Instituto Forestal). Coyhaique, Chile. Recuperado el 23 de mayo de 2020 de <https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/handle/123456789/13236>
- Núñez, R., Schaffer, B., Fisher, J., Colls, A., y Crane, J. (1999). Influence of flooding on net CO<sub>2</sub> assimilation, growth and stem anatomy of *Annona* species. *Annals of Botany*, 84, 771-780. Doi: 10.1006/anbo.1999.0977

- Neuman, D. (1993). Shoot responses to root stress - a resource gathering point of view. *Journal of Arboriculture*. 19(2): 118-123.
- Phang, H y Knipling, E. (1976). Photosynthetic and transpiration of citrus seedling under flooded conditions, *HortScience*, 11, 131-133.
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., y Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Estudio FAO: Riego Y Drenaje. Roma, Italia. Recuperado el 30 de Enero de 2020, desde <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>.
- Soto, C. (2004). *Evaluación de porta injertos de palto de raza Antillana, Mexicana y Guatemalteca bajo condiciones de estrés por hipoxia*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile. Recuperado de [http://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/S-T-U/SotoClaudia2004.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S-T-U/SotoClaudia2004.pdf)
- Shaozhong, K., Binjie, G., Du, T., y Jianhua, Z. (2003). Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semihumid region. *Agricultural Water Management*, 59, (03), 239-254. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00150-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00150-6)
- Schaffer, B y Whiley, A. (2002). *The avocado: botany, production and uses*. Capítulo 6. Environmental physiology, Primera edición, 133-154. Recuperado el 19 de enero de 2020 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.11.010>
- Schaffer, B., Andersen, P., y Ploetz, R. (1992). Responses of fruit crops to flooding. *Horticultural Reviews*, 13, 257-313. Chapter: 7. Recuperado el 18 de mayo de 2020 de [https://www.researchgate.net/publication/229724734\\_Responses\\_of\\_Fruit\\_Crops\\_to\\_Flooding](https://www.researchgate.net/publication/229724734_Responses_of_Fruit_Crops_to_Flooding)
- Torres, R. (2015). *Producción de plantones de palto (Persea americana Mill.) cv. Mexicola, con cinco niveles de humedad en dos tipos de sustrato bajo invernadero*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/414>
- Taiz, L y Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. Fifth Edition. Sunderland, Massachusetts, USA. Sinauer Associates.
- Taiz, L y Zeiger, E. (1998). *Plant physiology*, Second edition. Sunderland, Massachusetts, USA. Redwood City, *Sinauer Associates Publishers*.
- Turner, N., Schulze E y Gollan, T. (1984). The response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. *Oecologia* 65, 348-355. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/BF00378908>

- Wencomo, H y Ortiz, R. (2010). Comportamiento de 23 accesiones de *Leucaena* spp. en condiciones de vivero. *Pastos y Forrajes*, 33 (2). Estación experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Recuperado en 18 de mayo de 2020, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942010000200002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942010000200002&lng=es&tlng=es).
- Yetisir, H., Caliskan M., Soylu, S., y Sakar, M. (2006). Some physiological and growth responses of watermelon [(*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 1-8.

## CONCLUSIONES GENERALES

- La dosis que mostró las mayores tasas en las variables de crecimiento y acumulación de biomasa fue  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ .
- La mayor ( $6,8 \text{ mm d}^{-1}$ ) y menor dosis ( $2,3 \text{ mm d}^{-1}$ ) de agua utilizada durante el ensayo, arrojaron los menores valores en variables de crecimiento, acumulación de biomasa e intercambio gaseoso, exceptuando EUA la cual fue mayor con la menor dosis de agua.
- Las variables de crecimiento y acumulación de biomasa se ajustaron a modelos de regresión cuadrático, con máximos valores en dosis intermedias, donde las variables de crecimiento altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar, mostraron su máximo rendimiento con las dosis promedios  $4,76 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $4,91 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $4,68 \text{ mm d}^{-1}$  y  $4,62 \text{ mm d}^{-1}$  respectivamente. De igual forma las variables de acumulación de biomasa, masa seca de raíz, masa seca de tallo, masa seca de hoja y masa seca total, arrojaron los mayores valores de masa seca con las dosis promedios  $4,32 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $4,70 \text{ mm d}^{-1}$ ,  $4,62 \text{ mm d}^{-1}$  y  $4,57 \text{ mm d}^{-1}$  respectivamente.
- De acuerdo a los modelos de regresión cuadrática a los que se ajustaron los resultados del ensayo, el punto de máxima acumulación de biomasa se dio a los 90 DDT, constituye el momento óptimo en el que las plantas deben ser llevadas a campo.
- Las mayores tasas de  $P_n$ ,  $g_s$ , DPV y E se evidenciaron con la dosis  $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ .
- La respuesta de la Conductancia estomática ( $g_s$ ) y Transpiración (E) fue similar a la actividad fotosintética, incrementándose en la medida que se aumentó la dosis de agua.
- Las plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, fueron más eficiente en el uso del agua (EUA), cuando hubo menor disponibilidad de la misma
- Existe una relación directa entre la masa seca total (MSTL) y las variable  $P_n$ ,  $g_s$ , E y DPV, siendo más marcada dicha relación con la  $P_n$ .
- La MSTL se relacionó negativamente con la EUA, lo cual indica que una mayor fijación de  $\text{CO}_2$  para la formación de biomasa requiere de un alto costo hídrico para la planta.
- De acuerdo a los resultados evidenciados y las condiciones del ensayo se escogió un Kc: 0,8 haciendo énfasis en el uso eficiente del agua.

## **RECOMENDACIONES GENERALES**

- Para buscar más eficiencia en las dosis de agua altas, se recomienda que se les de un manejo fraccionado en su aplicación durante el día.
- Para futuras investigaciones a nivel de vivero bajo condiciones controladas, se recomienda evaluar  $K_c$  entre 0,8 y 1,2, así como también evaluar el efecto de la nutrición sobre las variables de crecimiento.
- Se recomienda a los productores de plántulas de aguacate a nivel de vivero en la subregión Montes de María (Sucre), trabajar con la dosis de agua  $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ .

## ANEXOS

### ANEXO A. Propiedades químicas del sustrato utilizado en el ensayo.

Propiedad	Unidad	Valor	Propiedad	unidad	Valor
<b>pH</b>	1:1, P/V	7,02	<b>Mg</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	3,1
<b>MO</b>	%	1,93	<b>Na</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	0,31
<b>C.I.C</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	24,5	<b>Cu</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,1
<b>P</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	95,8	<b>Fe</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,1
<b>S</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	13,3	<b>Zn</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,2
<b>K</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	0,41	<b>Mn</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	7,2
<b>Ca</b>	Cmol.kg <sup>-1</sup>	20,7	<b>B</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	0,33

MO: materia orgánica; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico.

### ANEXO B. Propiedades químicas del agua utilizada en el ensayo.

Propiedad	Unidad	Valor
<b>pH</b>	-	6,36
<b>CE</b>	dS.m <sup>-1</sup>	0,58
<b>Ca</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	4,10
<b>Mg</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	1,21
<b>Na</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	1,08
<b>K</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	0,16
<b>Cl</b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	0,30
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	2,68
<b>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	0
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Cmol.L <sup>-1</sup>	3,57

CE: Conductividad eléctrica.

**ANEXO C.** Modelos de regresión de los parámetros de crecimiento altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal de tallo (DBT) y número de hojas (NH) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, bajo las dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT)

VARIABLE	DOSIS DE AGUA (mm.d <sup>-1</sup> )	MODELO DE REGRESIÓN	R <sup>2</sup>
AP	2,3	$y=19,0983+1,4344^{**}x-0,0108^{**}x^2$	0,9290
	3,6	$y=32,5810+0,7491^{**}x-0,0035^{**}x^2$	0,9595
	5,4	$y=25,1387+1,2031^{**}x-0,0067^{**}x^2$	0,9453
	6,8	$y=31,8558+0,8864^{**}x-0,0057^{**}x^2$	0,8944
AF	2,3	$y=2\,129,4051+43,2021^{**}x$	0,8230
	3,6	$y=518,1216+138,0574^{**}x-0,6982^{**}x^2$	0,8002
	5,4	$y=178,3503+162,7469^{**}x-0,9569^{**}x^2$	0,9044
	6,8	$y=641,2197+123,1288^{**}x-0,7235^{**}x^2$	0,8513
DBT	2,3	$y=5,0326+0,0940^{**}x-0,0006^{**}x^2$	0,8626
	3,6	$y=6,6331+0,0304^{**}x$	0,8192
	5,4	$y=5,3782+0,1105^{**}x-0,0008^{**}x^2$	0,8473
	6,8	$y=6,4776+0,0296^{**}x$	0,7854
NH	2,3	$y=6,2583+0,2670^{**}x-0,0014^{**}x^2$	0,9240
	3,6	$y=10,3222+0,1211^{**}x$	0,9060
	5,4	$y=4,5417+0,4239^{**}x-0,0025^{**}x^2$	0,9637
	6,8	$y=6,9417+0,3316^{**}x-0,0023^{**}x^2$	0,7668

**\*\***: Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

**ANEXO D.** Modelos de regresión de los parámetros de crecimiento: altura de planta (AP), área foliar (AF), diámetro basal de tallo (DBT) y número de hojas (NH) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de la dosis de agua en etapa de vivero (15-90 DDT).

Variable	DDT	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>
AP	15	$y=36,4383+1,2540^{**}x$	0,4124
	45	$y=77,1988-6,8554^{**}x+0,6876^{**}x^2$	0,6334
	60	$y=35,9666+16,2501^{*}x-1,7992^{*}x^2$	0,3553
	75	$y=27,6290+18,5168^{**}x-1,7951^{**}x^2$	0,6658
	90	$y=17,3419+25,9430^{**}x-2,8072^{**}x^2$	0,9072
AF	45	$y=-1903,2762+2887,9785^{*}x-273,6155^{*}x^2$	0,5777
	60	$y=-913,7198+3896,5977^{**}x-452,2168^{**}x^2$	0,7995
	75	$y=1697,5454+2150,0760^{**}x-219,9531^{**}x^2$	0,5041
	90	$y=-172,0381+3357,1987^{**}x-371,0787^{**}x^2$	0,7162
DBT	45	$y=4,7161+1,8385^{**}x-0,2001^{**}x^2$	0,5451
	60	$y=4,6493+1,9857^{**}x-0,2220^{**}x^2$	0,5236
	75	$y=6,4045+1,2658^{**}x-0,1367^{**}x^2$	0,6206
	90	$y=4,5738+2,2072^{**}x-0,2222^{**}x^2$	0,7355
NH	15	$y=6,3901+1,9535^{*}x-0,1999x^2$	0,2261
	30	$y=12,7312+0,4764^{**}x$	0,4866
	60	$y=10,1099+3,0494^{*}x-0,2275^{*}x^2$	0,7936
	75	$y=4,1508+7,9539^{**}x-0,8995^{**}x^2$	0,6332
	90	$y=9,9276+5,3482^{**}x-0,5893^{**}x^2$	0,5331

\*\* : Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

**ANEXO E.** Prueba de comparaciones de medias para la variable altura de plantas (AP) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluviéjo, Sucre.

Altura de plantas (cm)						
Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	38,08 B	45,55 B	52,95 B	57,6 C	62,97 C	66,58 C
3,6	42,68 A	51,95 A	60,3 A	64,93 B	68,3 B	72,23 B
5,4	44,45 A	53,95 A	61,83 A	77,43 A	79,13 A	80,26 A
6,8	45,53 A	54,08 A	61,67 A	65,05 B	68,55 B	69,95 BC

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey (p< 0.05).



**ANEXO F.** Prueba de comparaciones de medias para la variable área foliar (AF) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Área foliar (cm <sup>2</sup> )						
Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	2587,5 A	3387,8 A	3497,5 B	5510,6 C	5360,6 B	5621,4 B
3,6	2924,6 A	3426,4 A	4444,3 B	7669,3 A	6877,2 A	7019,4 A
5,4	2626,8 A	3488,0 A	6216,3 A	6607,9 B	6604,2 A	7221,5 A
6,8	2486,9 A	3358,5 A	4957,8 AB	5039,1 C	6348 AB	5628,6 B

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ).

**ANEXO G.** Prueba de comparaciones de medias para la variable diámetro basal (DBT) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Diámetro basal (mm)						
Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	6,13 B	7,62 A	8,03 B	8,20 B	8,71 BC	8,87 B
3,6	7,08 A	7,74 A	7,88 B	8,47 B	9,08 AB	9,37 A
5,4	6,88 AB	7,76 A	8,83 A	9,04 A	9,14 A	9,34 A
6,8	6,70 AB	7,73 A	7,93 B	8,22 B	8,66 C	9,30 AB

DDT: días después de la trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**ANEXO H.** Prueba de comparaciones de medias para la variable número de hojas (NH) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Número de hojas (unidad)						
Dosis de agua (mm d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	9,5 C	13,75 B	16,25 B	16,00 C	18,25 BC	19,50 B
3,6	12,0 A	14,50 AB	16,00 B	17,50 B	19,75 B	21,00 AB
5,4	10,0 BC	15,75 A	18,00 A	20,75 A	22,25 A	22,25 A
6,8	11,0 AB	15,50 AB	16,75 AB	20,00 A	16,50 C	19,00 B

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**ANEXO I.** Modelos de regresión de la masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hoja (MSH) y masa seca total (MSTL) en la etapa de vivero (15-90 DDT) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de agua.

Variable	Dosis de agua (mm d <sup>-1</sup> )	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>
MSR	2,3	$y=4,3633+0,0940^{**}x$	0,6970
	3,6	$y=4,7461+0,1497^{**}x$	0,7700
	5,4	$y=5,2050+0,1279^{**}x$	0,7564
	6,8	$y=4,5118+0,0951^{**}x$	0,8560
MST	2,3	$y=0,7083+0,2907^{**}x-0,0015^{**}x^2$	0,9077
	3,6	$y=3,2539+0,2292^{**}x$	0,8564
	5,4	$y=3,4833+0,2236^{**}x$	0,9039
	6,8	$y=3,6908+0,1660^{**}x$	0,8933
MSH	2,3	$y=5,6967+0,2849^{**}x$	0,8749
	3,6	$y=5,6892+0,4021^{**}x$	0,9367
	5,4	$y=4,0783+0,4501^{**}x$	0,9525
	6,8	$y=5,5783+0,3244^{**}x$	0,9344
MSTL	2,3	$y=13,8878+0,5135^{**}x$	0,8873
	3,6	$y=22,8678+0,0,3090^{\circ}x-0,0042^{*}x^2$	0,9550
	5,4	$y=12,7517+0,8017^{**}x$	0,9496
	6,8	$y=15,2729+0,5429^{**}x$	0,9069

\*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

**ANEXO J.** Modelos de regresión de masa seca de raíz (MSR), tallo (MST), hoja (MSH) y total (MSTL) de la variedad americana de aguacate (*Persea americana* Miller) en función de los días después del trasplante (DDT).

Variable	DDT	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>
MSR	15	$y = -0,7918 + 3,5992^{**}x - 0,4032^{**}x^2$	0,6334
	30	$y = 0,5850 + 4,3042^{**}x - 0,4715^{**}x^2$	0,6399
	45	$y = -6,4829 + 8,3171^{**}x - 0,8930^{**}x^2$	0,7788
	75	$y = -2,0114 + 7,3685^{**}x - 0,8023^{**}x^2$	0,3495
	90	$y = -9,3698 + 13,2889^{**}x - 1,4847^{**}x^2$	0,7184
MST	15	$y = -0,4202 + 2,8118^{**}x - 0,2699^{**}x^2$	0,4234
	30	$y = 3,3899 + 3,5789^{**}x - 0,4063^{**}x^2$	0,5223
	45	$y = -1,7078 + 6,4728^{**}x - 0,6948^{**}x^2$	0,4847
	60	$y = -5,5427 + 10,5103^{**}x - 1,1580^{**}x^2$	0,7077
	75	$y = -2,9079 + 10,0632^{**}x - 1,0732^{**}x^2$	0,3770
MSH	90	$y = -12,2166 + 15,8939^{**}x - 1,6717^{**}x^2$	0,7733
	15	$y = 4,0840 + 3,1040^{**}x - 0,3319^{**}x^2$	0,5000
	30	$y = 5,0824 + 5,9425^{**}x - 0,6576^{**}x^2$	0,6720
	45	$y = 5,5822 + 7,9465^{**}x - 0,8561^{**}x^2$	0,5262
	60	$y = -19,4835 + 24,0958^{**}x - 2,6210^{**}x^2$	0,6622
MSTL	75	$y = 0,0831 + 15,1598^{**}x - 1,5819^{**}x^2$	0,5477
	90	$y = -10,9481 + 24,5865^{**}x - 2,6551^{**}x^2$	0,6771
	15	$y = 2,8719 + 9,5150^{**}x - 1,0050^{**}x^2$	0,6101
	30	$y = 9,0573 + 13,8255^{**}x - 1,5354^{**}x^2$	0,7108
	45	$y = -0,0548 + 21,0497^{**}x - 2,2432^{**}x^2$	0,5971
	60	$y = -11,3745 + 33,0316^{**}x - 3,6275^{**}x^2$	0,7784
	75	$y = 2,7126 + 27,5292^{**}x - 2,8548^{**}x^2$	0,6653
	90	$y = -40,4711 + 58,5336^{**}x - 0,64526^{**}x^2$	0,8114

\*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

**ANEXO K.** Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de raíz (MSR) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Masa seca de raíz (g)						
Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	5,18 C	7,38 B	8,63 B	9,77 B	11,25 C	13,58 B
3,6	7,38 A	10,0 A	11,25 A	11,80 A	16,95 A	20,00 A
5,4	6,45 AB	9,67 A	10,98 A	11,93 A	14,43 AB	18,33 A
6,8	5,40 BC	8,10 B	8,73 B	9,80 B	11,98 BC	13,50 B

DDT: días después de la trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**ANEXO L.** Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de tallo (MST) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Masa seca de tallo (g)						
Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	4,33 B	9,15 B	9,83 B	13,05 B	14,15 C	15,75 C
3,6	7,18 A	10,83 A	12,78 AB	15,40 A	18,65 AB	25,30 A
5,4	6,18 A	10,33 A	13,53 A	17,57 A	19,42 A	23,32 A
6,8	6,60 A	9,10 B	10,50 AB	12,25 B	16,45 BC	19,75 B

DDT: Días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**ANEXO M.** Prueba de comparaciones de medias para la variable masa seca de hojas (MSH) a los 15, 30, 45, 60, 75, y 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluvié, Sucre.

Masa seca de hojas (g)						
Dosis de agua (mm. d <sup>-1</sup> )	DDT					
	15	30	45	60	75	90
2,3	9,23 C	14,93 C	19,63 B	21,87 B	25,70 C	32,58 C
3,6	11,55 A	18,80 A	22,37 AB	30,37 A	31,50 B	42,80 AB
5,4	10,58 AB	17,15 B	24,25 A	32,93 A	36,60 A	44,75 A
6,8	10,23 BC	15,73 BC	19,85 B	25,25 B	30,65 B	34,45 BC

DDT: días después del trasplante. Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**ANEXO N.** Comparaciones de media del efecto de cuatro dosis de agua sobre las variables Fotosíntesis ( $P_n$ ), Conductancia estomática ( $g_s$ ), Déficit de presión de vapor (DPV), Transpiración (E) y Eficiencia en el Uso del agua (EUA) en aguacate (*Persea americana*) Miller variedad americana a los 90 DDT.

Dosis de agua (mm.d <sup>-1</sup> )	$P_n$ ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$g_s$ $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	DPV (kpa)	E $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	EUA
2,3	25,33 B	11,50 C	3,87 C	0,23 C	109,14 A
3,6	30,65 A	27,50 B	4,08 C	0,57 B	54,56 B
5,4	31,00 A	47,00 A	5,69 A	1,32 A	23,58 C
6,8	26,33 B	28,00 B	4,56 B	0,65 B	40,95 B

Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p<0,05$ ).

**ANEXO Ñ.** Matriz de correlación (r de Pearson) entre la masa seca total (MSTL) y los parámetros de intercambio gaseoso ( $P_n$ ,  $g_s$ , E, DPV y EUA) de las dosis de agua en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana a los 90 DDT.

	MSTL	$P_n$	$g_s$	E	DPV	EUA
MSTL	---	0,81**	0,62*	0,57*	0,47	-0,52*
$P_n$		---	0,66**	0,60*	0,47	-0,51*
$g_s$			---	0,97**	0,87**	-0,90**
E				---	0,93**	-0,87**
DPV					---	-0,76**
EUA						---

°: Diferencias significativas al 10%; \*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%.